

NOZIONI ELEMENTARI

DI

FISICA

DEL

CONTE MICHELE MILANO

SECONDA EDIZIONE

VOL. II

Recte ponitur, vere scire esse
per causas scire.
BACONE





NAPOLI
PRESSO SANGIACOMO
1830.



NOZIONI ELEMENTARI

DI

FISICA

LIBRO QUINTO

DELLA ELETTRICITA'



CAPO XIII.

Elettricismo naturale

91. Conosciute la bottiglia di Leyda e la batteria elettrica, gli effetti della elettricità accumulata da questi apparecchi molto somiglianti si ritrovarono a quelli del fulmine, e tanto gli uni quanto gli altri si credettero dipendere da una stessa cagione. Antecedentemente, anzi circa un secolo prima, la luce e lo strepito della elettricità artificialmente ottenuti il Wall paragonò al lampo ed al tuono: Franklin, appoggiato al potere che le punte hanno di scaricar di elettricità i corpi elettrizzati, immaginò il modo di assicurarsene. Egli propose di elevarsi in aria una verga di ferro terminata con una punta aguzza, e di attrarre così l'elettricismo dal cielo sulla terra. Il Dalibard, uno dei primi ad eseguire il progetto fè costruire una capanna sopra la quale era attaccata una barra di ferro alta quaranta piedi, ovvero tredici metri circa, ed isolata nelle parti basse. Passando a lei vicino una nuvola tempestosa, la barra toccata col dito mandò scintille. Il Romas, dopo il

Il fluido elettrico è la materia del fulmine

Dalibard, si rese più ardito, elevando verso la nuvola tempestosa un cervo volante, armato di verga di ferro fornita di punta aguzza. La corda del cervo volante era intrecciata di un filo metallico, fino a certa distanza: il resto della corda era un cordone di seta, sostanza isolatrice. Egli ottenne getti elettrici della lunghezza di dieci piedi (poco più che trentadue decimetri): il fragore che accompagnava i getti somigliava ad una scarica di pistola. Esperienze pericolose. Il Richman perdette per una di queste la vita. Così, col poter delle punte tirato il fulmine sulla terra, fu assicurata l'analogia.

...gioni della ...cità atmosferica

92. Il vapore acqueo, e tante altre sostanze terrestri attenuate, sospesi nell'atmosfera gran serbatoio sono di fluido elettrico. Le nuvole che si formano del vapore acqueo atmosferico dobbiamo considerare come conduttori più o meno isolati. Sapete l'aria essere sostanza isolatrice. Quanto ella è meno impregnata di particelle umide, tanto è isolatrice maggiormente.

...fulmine

93. Il fluido elettrico atmosferico si manifesta col fulmine. Questo è l'effetto di una rapida ed abbondante scarica di quello. Il corpo fulminante è nello stato vitreo. Il corpo fulminato è nello stato resinoso. Istantaneo, cadente quasi sempre dal cielo in istriscia serpeggiante di fuoco (1), dal tuono accompagnato e dal lampo, operatore di morti e di rovine, il fulmine sino dalla più remota antichità fu creduto l'arma con la quale si esercitava la giustizia divina.

(1) D'ordinario propiamente a *zigzag*.

Una nuvola tempestosa è un conduttore isolato ed elettrizzato. Ella in grande verso i corpi a lei vicini produrrà fenomeni simili a quelli che i nostri conduttori isolati ed elettrizzati ci presentano. Quindi scosse, commozioni, decomposizioni, infiammazioni, fragori. La luce che il fluido elettrico svolge in tal circostanza fornisce la materia della saetta e del lampo; il fragore risultante dalla resistenza che l' aria oppone al passaggio del fluido produce il tuono.

94. Il para-fulmini, o spranga elettrica del Franklin è una barra di ferro, elevata per l' atmosfera, terminante in una punta acuta, ed in comunicazione col seno della terra. La comunicazione si pratica o profondando nel suolo la parte della barra opposta alla punta, o col mezzo di corde metalliche, delle quali le meno opportune sono quelle di ferro. Con tal macchina gli edifizii possono preservarsi dai danni che loro cagionano i fulmini: poichè questi, attratti col poter della punta dalla nuvola tempestosa, sono dalla conducibilità obbligati a portarsi nel seno della terra, scorrendo lungo la barra o le corde metalliche, e così vengono impossibilitati ai danni che, liberi, operano frequentemente. Il numero dei para-fulmini, per custodire un edificio deve essere proporzionato alla estensione di questo. D' ordinario si considera che basta sieno i para-fulmini distanti fra loro venti metri, ed alti dieci metri oltre l' edificio. Un parafulmini si considera garentisca contro il pericolo del fulmine una estensione circolare di cui ogni raggio corrisponda alla elevazione della barra sopra dell'edificio. La barra è o quadrilatera, o ritondata: se le dà la grossezza almeno di tre centimetri di dia-

I para-fulmini

metro. La punta di lei o si fà di rame dorato, o di platino, metalli che resistono più del ferro all' azione elettrica. L' esperienza dimostra che, dopo alcuni anni, l' acuto delle punte di ferro della spranga per la ossidazione resta ritondato, ciò che diminuisce l' effetto del fenomeno. La punta di platino è la più opportuna : il platino puro si fonde e si ossida molto difficilmente.

Anche i vascelli possono munirsi di para-fulmini.

La seguente sperienza è una immagine dell' effetto del para-fulmini sulle nuvole elettrizzate. Al conduttore di una macchina elettrica si sospende un filo di lino, alla punta bassa del quale vi è uno straccio di cotone cardato con cui possiamo rappresentarci una nuvola. Si elettrizza tutto, e si presenta al cotone una punta metallica. Stando questa anche a molta distanza, il cotone è attirato verso la punta, e si scarica invisibilmente della elettricità sua. Dopo di ciò il cotone torna verso il conduttore a fine di ricaricarsi, e ritornare verso la punta ad iscaricarsi di nuovo. Sospesi diversi stracci di cotone a fili di lunghezze differenti, gli uni si ripiegano verso degli altri. Non altramente le sfioccature delle nuvole già scaricate di elettricità dalla influenza di un para-fulmini debbono piegarsi verso le parti superiori di una nuvola ancora elettrizzata. Se si vuole ottenere dal cotone la luce elettrica, alla punta si sostituisce un corpo sferico di metallo. Allora fra i due corpi si produce la scintilla.

Certa è la utilità dei para-fulmini. Malgrado ciò nel regno di Napoli, tanto ai fulmini esposto, non sono in uso.

Giova avvertire esser necessario la comunicazione tra il para-fulmini ed il suolo sia ben agevolata. Senza questo agevolamento il fulmine scoppierebbe tra i punti ne' quali il cammino del fluido elettrico sarebbe interrotto, ed in questo caso l' istrumento richiamo pericolosissimo di fulmini, anzi che preservatore da essi, dovremmo reputare (1).

95. Tra i diversi modi nei quali lo scoppio del fulmine può divenir funesto a coloro che si trovano sopra un suolo dominato dalla tempesta evvene uno che a prima vista sembra inesplicabile. Avviene talora che un uomo, o un animale, situato molto lungi dal luogo dove scoppia il fulmine, per effetto di questa esplosione sia ferito, od ucciso. Il fenomeno dal Mahon si attribuì ad un ristabilimento di equilibrio, e contraccolpo elettrico si denomina. Il fenomeno del contraccolpo elettrico con la teoria dei due fluidi spiegasi nel modo seguente. Sia (*fig.* 13) *a b* conduttore di una macchina elettrica in attività. Dietro a questo ve ne sia un altro *c d* isolato ed in istato naturale, a distanza che non possa tirare dal primo veruna scintilla. Un terzo conduttore *e f* non isolato, sia tanto vicino al secondo che, elettrizzato questo, possa trarne scintille. Dei due fluidi che compongono il fluido naturale di *c d* quello della elettricità resinosa rimarrà in tal corpo in virtù del-

Contraccolpo elettrico

(1) Dary ha progettato il para-fulmini portatile. Questo è una specie di canna (credo di lamina metallica) alta intorno a due metri, contenente un' asta acuminata di ferro o di acciaio. Quando si vuole adoperare, si ficca nel suolo e si arma dell' asta. Difende a qualche passo di distanza.

l' attrazione che il fluido vitreo di *a b* esercita sopra di lui; l' altro, cioè il fluido vitreo, sarà respinto col corpo *e f* il quale lo trasmetterà ai corpi circostanti in modo che il conduttore *c d* si troverà elettrizzato resinosamente. Or se in questo momento si scarica il conduttore *a b*, il conduttore *c d* ripiglierà velocemente il suo fluido vitreo che gli sarà restituito dal conduttore *e f*: e se, in luogo del conduttore, si suppone una persona isolata che presenti le mani alla distanza che conviene ai conduttori *a b e f*, la scarica farà nascere tra *e f* ed il dito situato dal medesimo lato una scintilla molto pungente, prodotta dall' improvviso ritorno del fluido vitreo ch' era uscito dal corpo della persona.

96. Esempio. Sia *n g* (*fig.* 14) una di queste nuvole molto caricata di elettricismo vitreo; sia *d* un viaggiatore situato nella sfera di attività della nuvola. Il fluido vitreo del viaggiatore sarà dalla ripulsione del fluido contenuto nella nuvola respinto nella terra, in modo che il viaggiatore si ritroverà sensibilissimamente in istato resinoso. Diasi ora che la presenza di un oggetto terrestre determini la nuvola a fare esplosione sopra c; il fluido vitreo ritornerà nel corpo del viaggiatore con una rapidità ed una abbondanza proporzionate alla energia con la quale agisce l' elettricismo della nuvola, e la scossa che ne risulterà potrà essere forte al segno di uccidere il viaggiatore. Intanto potrà darsi che contemporaneamente uomini od animali situati in luoghi, *t b*, che sembravano più esposti al pericolo della esplosione, non ne ricevano danno alcuno.

97. Erasi osservato la formazione del fulmine essere sovente accompagnata da quella della gragnuola. Il Volta i due fenomeni contemporanei considerò dipendenti da una doppia azione del fluido medesimo. Ricordate il fenomeno dello scampanìo applicato ai dischi metallici ed alle palle di midollo di sambuco, contenute nel cilindro di vetro (§§. 81, 82), supponendo che i dischi sieno in senso contrario elettrizzati. Così, grazie ad una delle tante felici applicazioni del Volta, avrete una immagine della formazione della gragnuola. **Formazione della gragnuola**

L' evaporazione rapida che talora soffre la superficie di una nuvola colpita da raggi del sole, attivi molto più che l' ordinario, priva la nuvola di gran parte del suo calorico. Tal raffreddamento determina principalmente la formazione della gragnuola.

Supponete una di queste nuvole. Supponete una seconda sotto della prima, restando tra le due certo intervallo.

Le due nuvole suppongansi elettrizzate ciascuna in senso diverso dell' altra, cioè una vetrosamente, una resinosamente : supposizione appoggiata dalle osservazioni fatte sulle nuvole tempestose.

Le molecole acquee situate alla superficie della nuvola superiore, congelate pel raffreddamento dalla nuvola sofferto, si uniscono e compongono particelle di neve o di ghiaccio. Di questi grani quelli i quali sono in contatto con la parte della nuvola che guarda in giù, ed i quali partecipano della costei elettricità, sono spinti verso la nuvola sottoposta, che, dopo di averli attirati, li respinge. Dilungare il paragone è superfluo.

La sola differenza tra il fenomeno naturale e l'artificiale è che i grani della gragnuola, mentre balzano da una nuvola all'altra, incontrano dei globuli di vapori vescicolari, co' quali ingrossano il loro volume, fino a che la forza preponderante della gravità li precipita verso la terra.

Para-grandini

98. Il Lapostolle ha osservato che la paglia sia conduttore più energico dei metalli: e, con corde di tal sostanza, ha formato il para-grandini. Il para-grandini del Lapostolle, migliorato in Francia dal Tholard ed introdotto in Italia dal Beltrami, è una corda di paglia contenente un picciolo cordone di lino crudo, sostenuta da una pertica di legno, 7 metri lunga, terminata con una punta di ottone. A preservare le campagne dalla gragnuola per mezzo del para-grandini il Tholard distribuisce questi in distanza di 200 metri, l'uno dall'altro. Un rapporto fatto nel 1826 dall'Accademia delle Scienze di Francia riconosce la efficacia dei para-grandini, ed approva sommamente la risoluzione della società di Agricoltura del dipartimento del Rodano di ricorrere alla Società di Assicurazione per facilitare il propagamento di così utile apparecchio (1).

---

(1) È importante qui si legga una lettera intorno all'uso del para-grandini del Tholard diretta da Milano al direttore dell'Antologia di Firenze: essa è la seguente.

« L'ultimo o il penultimo di maggio (1823) corse un fiero temporale con molta gragnuola... Presso ad un villaggio detto Gorgonzola è un vasto podere, che il signore suo (il conte Giulio Ottolini) volle armato di para-grandini. Potete immaginarvi con che attenzione si guardasse dai contadini quel podere mentre durava la fu-

99. Di altre meteore il fluido elettrico atmosferico possiamo considerare operatore. P. es. passando da una nuvola all'altra, senza ostacolo alcuno, esso presenterà il lampo non accompagnato da tuono.

Altre meteore dipendono dal fluido elettrico, aeroliti

A' 20 gennaio 1817 ad Alcocer, nella Castiglia Vecchia, avvenne questo fenomeno. Pioveva, e la pioggia accompagnavano tuoni e lampi frequentissimi. Nel corso del temporale si aprì una nuvola, ed uscì da essa un gran globo di fuoco, che rapidamente si precipitò sulla terra, ed operò un incendio. Tra i lampi uno abbagliò la vista, e lo scoppio terribile che lo accompagnò fè cadere quelli il cui udito ne fu percosso.

Non di rado dall'atmosfera cadono sulla superficie terrestre alcuni corpi pietrosi. Il fenomeno per lo più segue l'apparizione di una meteora luminosa ed in figura di globo di fuoco. Questa meteora finisce con uno scoppio di fragore distinto notabilmente da quello del tuono (1) e con la pioggia

---

ria della procella. Ora, con sommo stupore videro la gragnola saltellargli all'intorno, e mai non discendere sopra di esso. Anzi videro un'altra cosa più bella e più notabile, nevigare cioè, come essi dicevano, ossia cadere sopra alcuni punti del podere una gragnoletta mal formata che si congelò in aria : fenomeno preziosissimo, poichè non lascia dubbio che si sarebbe scaricata su quel podere ugual gragnuola che su' vicini, se l'azione de' para-grandini non lo avesse impedito. »

(1) In Francia, nel comune dello la Baffe, dipartimento des Vosges, a' 13 settembre 1822 fu un forte temporale. Oltre il fragore de' tuoni, che scoppiavano in varii punti, distinto assai dal medesimo, se ne sentì uno, analogo a quello di una carrozza nuova e mal unta discendente rapida per istrada scabra e pietrosa. La sua direzione era

di tali pietre, dette aeroliti o pietre atmosferiche (1). Gli aeroliti sono composti di terre e di metalli, tra' quali è ferro in istato metallico. Se ne osservano massi grandi oltremodo. È probabile si formino di particelle di corpi attenuati contenute nell'atmosfera e riunite per la fòrza prodigiosa del fluido elettrico.

La notizia delle piogge di pietre è antichissima. Plinio ne ricorda una a' giorni di Tullo Ostilio. A' tempi di Anassagora cadde in Atene un'aerolita, ed al filosofo, che attendeva a distinguere la natura dal prodigio, fu causa di persecuzione. Nella China e nel Giappone il fenomeno è conosciuto da tempo immemorabile.

Circostanze elettriche atmosferiche

100. In generale la elettricità atmosferica è maggiore nei luoghi elevati ed isolati. Ella quivi è meno in grado di comunicare coi corpi terrestri. Per la stessa cagione nei luoghi chiusi e cinti di edifizii ella è quasi insensibile; quivi è in maggior comunicazione coi corpi terrestri. D'altronde se nei luoghi elevati, od isolati, vi sono acque o metalli ella correrà verso questi conduttori.

101. Essendo l'acqua buon conduttore del fluido elettrico, giudicherete che le pioggie, le nebbie

---

la stessa del temporale. Indi, insieme al rumor particolare testè mentovato, si senti uno schricchiolar simile ad un grande rompimento di bottiglie, e con uno scoppio sordo e profondo cadde una pietra atmosferica, giudicata della grandezza di una palla di sei libbre, la quale si ruppe in molti pezzi che in parte furono raccolti. La meteora e la esplosione non furono accompagnate da apparenza luminosa.

(1) *Aer* aria, *lithos* pietra.

umide, la ruggiada ec. conducano sulla terra molta quantità di fluido elettrico atmosferico: vi sono anzi esempii di piogge, nevi, e gragnuole accompagnate dallo splendore elettrico (1). Quindi è che nei giorni sereni l'umido atmosferico non conducendo fluido elettrico verso il gran serbatoio, la elettricità atmosferica sarà forte.

La elettricità atmosferica d'ordinario è più forte d'inverno, che di estate: in questa stagione l'atmosfera abbonda maggiormente di vapore acqueo, che in quella. ,, La elettricità atmosferica è suggetta come il mare ad un flusso e riflusso che la fa crescere e decrescere due volte in ventiquattr' ore. I momenti della sua più gran forza seguono di alcune ore il nascere ed il tramontare del sole; i momenti della sua maggior debolezza sono quelli che precedono il nascere ed il tramontare di questo astro ,, (2).

102. La elettricità dell' atmosfera è a considerarsi costantemente vitrea o vero positiva. Vi sono però circostanze nelle quali è parzialmente resino-

(1) Nella notte del 17 gennaio 1817 in varie parti della costa orientale degli Stati Uniti furono molte burrasche con pioggia e neve. Le persone che allor si trovavano all'aria libera, in luoghi alquanto elevati, videro gli orli dei loro cappotti, i loro guanti, le loro orecchie, la coda e i crini dei cavalli, i cespugli e i tronchi degli alberi circondati da fiamme di forme diverse. Queste somigliavano perfettamente a quelle picciole fiamme che di notte veggonsi ondeggiare intorno ad un metallo carico di elettricità. Fino lo sputo, in piccola distanza dalla bocca, diveniva luminoso. — A Freyberg in gennaio 1822 gragnuola luminosa si osservò.

(2) *Saussure*

sa. S' incontrano talora delle nuvole cariche di elettricità resinosa, soprattutto in tempo di tempesta. Da che una nuvola sarà divenuta elettrica vitreamente, un'altra nuvola ch' entrerà in rapporti elettrici con lei, respinto dalla tensione il propio fluido vitreo alla parte opposta dell' incontro, dovrà presentare il suo fluido resinoso. Ecco una nuvola negativamente, ovvero resinosamente, elettrizzata. Attaccate sulla palla metallica dell'elettrometro di T. Cavallo un ago ben acuto, ed in tempo di tempesta esponete l' apparecchio ad una finestra. Voi vedrete le palle respingersi spontaneamente. Esse, elettrizzate in questo modo, col processo indicato nel §. 81 potranno indicarvi la specie di elettricità dominante nell' atmosfera.

Circolazione del fluido elettrico

103. Se ogni corpo della natura conosciuta, ovvero della materia conosciuta, contiene fluido elettrico, e se il globo è la unione dei corpi della natura conosciuta, dobbiamo immaginare una circolazione continua di elettricità dai corpi sovrastanti verso il globo, e da questo a quelli. Così comprenderete come il globo è considerato serbatoio comune di fluido elettrico. Così vedrete la elettricità dal globo comunicarsi all' atmosfera, e reciprocamente dall' atmosfera al globo.

Lo stato elettrico del globo non è sempre il medesimo, sia relativamente alla intera massa, sia relativamente alle parti : lo stesso dell' atmosfera.

Fulmini della terra

104. Oltre i fulmini che partono dall' atmosfera, altri se ne scagliano dalla terra e dal mare : in questa circostanza la parte fulminata dell' atmosfera è in istato resinoso.

105. Gl' improvvisi cambiamenti di temperatura nell' atmosfera sovente debbono giudicarsi aver ragione da circostanze elettriche. Le meteore dette trombe discendenti passaggi di elettricità reputerete da nuvole basse nelle viscere della terra. Que' fisici che non negano le trombe ascendenti, ovvero tifoni, e che vogliono spiegarle interamente con la teoria dell' elettricismo, dicono che, quando la nuvola abbassata trovasi meno carica di fluido elettrico della parte del globo sulla quale è sospesa, allora materia elettrica si scarica dal globo nell' atmosfera, e sollevando la superficie delle acque per lei attraversate, non che rarefatta portandone seco una porzione, produce la tromba ascendente. Trombe atmosferiche

La tromba incomincia da una nuvola piccola, che con rapidità diviene grande, densissima, e lunga fino alla superficie della terra o del mare, in figura di cilindro o di cono. Quando è sul mare, le acque si agitano come bollissero, sollevandosi più o meno dal livello. È vôta nell' interno, dove freme un vento vorticoso con un fragore simile a quello di mare in tempesta. Promove fulmini, pioggia, gragnuola. Schianta, soqquadra, sommerge tutto ciò ch' è compreso nel vorticare di lei.

106. È opinione i tremoti essere effetto di fulmini sotterranei. La rapidità del fenomeno n' è una pruova. I tremoti e l' eruzioni vulcaniche sembrano dipendere da una stessa causa. Nell' eruzioni vulcaniche vi è sviluppo di elettricità. Fulmini nella terra

CAPO XIV.

Dottrine sull' elettricismo galvanico. Pila galvanica

Scoperta del Galvani

107. Il Galvani osservò che se, dopo di aver denudato il nervo di una gamba ed i muscoli dei lombi di una ranocchia, applicavasi una lamina di zinco sul nervo, una di rame sulla parte muscolare accennata, e, stando le lamine in tale situazione, si stabiliva il contatto fra loro, la musculatura della ranocchia era agitata da violente convulsioni. Egli attribuì questo fenomeno ad una elettricità particolare, e conchiuse tutti gli animali essere dotati di un elettricismo lor propio che la forza della vita metteva in attività, e che dal cerebro col mezzo dei nervi si diffondeva pel corpo.

Dottrina del Volta. Il galvanismo effetto della elettricità ordinaria suscitata dal contatto. Metalli in istato elettrico

108. Il Volta avendo osservato che le convulsioni della ranocchia, quantunque avvenissero talora anche quando il muscolo ed il nervo erano messi in rapporto fra loro con un solo metallo, pure ad ottenerle immancabilmente bisognava il mezzo metallico (poi detto arco eccitatore), col quale si promoveva il fenomeno, fosse composto di due metalli diversi; avendo osservato del pari che il fenomeno, quando avveniva con l' intervento di un solo metallo, si produceva semplicemente fino a che in quelle parti animali restava molta irritabilità, ed al contrario che con un arco di metalli differenti, oltre al prodursi sempre, si poteva ottenere per più lungo tempo, giudicò il principio dell' eccitamento provenir dai metalli, e la energia del medesimo

essere un effetto del contatto fra loro di metalli diversi. Quindi come la trasmissione di questo principio le sostanze isolanti interrompevano, nel convenire con Galvani aver questo principio la natura elettrica, appoggiato alle propie osservazioni, non lo riconobbe per un elettricismo particolare degli animali; e nel dichiararlo mero effetto della elettricità ordinaria, cagionato dallo stato elettrico che i metalli avevano acquistato per il loro contatto, conchiuse nei fenomeni galvanici le parti animali doversi considerare come semplici conduttori.

109. Il Sulzer molti anni prima, nella sua *teoria general del piacere*, aveva scritto che due pezzi di metallo, uno di piombo ed uno di argento, situati uno sopra, uno sotto la lingua in modo che escano alquanto fuori, senza toccarsi non danno alcun sapore particolare, ma messi in contatto promuovono il sapore del solfato di ferro. Il Volta reputò questo fatto un fenomeno elettrico sviluppato dal contatto dei due metalli nel quale la lingua serve da conduttore, e penetrò il primo l'analogia che passava tra il medesimo ed il fenomeno poi esposto dal Galvani. Fra le pruove che all'alto suo intendimento si presentarono concorse l'aver osservato che, tanto nell'una, quanto nell'altra esperienza, il miglior eccitatore era il zinco messo in contatto con l'argento o con il rame. Allora, per convincere del suscitamento della elettricità per contatto di due metalli diversi, inventò una macchina essenzialmente composta di zinco e di rame, o di zinco e di argento, la quale da se stessa si

Esperienza del Sulzer

elettrizza. Questa col nome di pila galvanica o di colonna del Volta è conosciuta. Prima di volgerci a questa sarà buono prendere idea di un' istrumento detto l' elettrometro condensatore.

Elettrometro condensatore

110. Supponete i fenomeni del condensatore combinati con quelli dell' elettrometro di T. Cavallo. Avrete una idea dell' elettrometro condensatore (*fig.* 15) destinato dal celebre Volta per raccogliere successivamente picciole quantità di elettricismo galvanico e determinarne gli effetti. La parte dell' istrumento che fa l' ufficio di elettrometro è composta di due fili di paglia *a b* uguali e dirittissimi. Si sospendono questi per mezzo di uncinetti di metallo che si muovono liberamente in due aperture fatte alla estremità inferiore di un picciolo pezzo di metallo di cui la estremità opposta è saldata sotto il turaccio di una bottiglia *c d e*. Al di sopra del turaccio è avvitato un disco di rame guernito inferiormente di un filo metallico terminato da un globetto *g*. Questo disco fu chiamato disco collettore, perchè il suo uso è di raccogliere le picciole quantità elettriche che si vogliono rendere sensibili con l' accumulamento. Sopra questo disco evvene un altro *h* al centro del quale è attaccato un cilindro di vetro, che comunica coi corpi circostanti per mezzo di una lama metallica *i*, curvata in un modo che si accosti molto al disco collettore. Ogni disco è verniciato sulla parte con la quale esso è in contatto con l' altro disco. Nell' esterno della bottiglia vi è una graduazione col cui mezzo si giudica presso a poco dell' allontanamento delle due paglie, p. e. *a k*, *b l*, ma che non è propio a dar

la misura della forza d' onde risulta questo allontanamento.

Il disco collettore al luogo del globetto *g* riceve successivamente delle picciole quantità di fluido elettrico, e ciò dai contatti ripetuti della sostanza che fornisce questo fluido, il quale supporremo essere la elettricità vitrea. Or, a misura che le riceve, avviene una decomposizione del fluido naturale contenuto nel disco superiore *h* in modo che il fluido resinoso, attirato verso il disco collettore, trovasi arrestato dagli strati di vernice, interposti fra i due dischi, mentre il fluido vitreo sfugge per la lama metallica *i*. Dopo un certo numero di contatti si toglie il disco superiore *h*, e subito le paglie si allontanano.

A conoscere la specie di elettricità si adopera il metodo indicato dove abbiamo dato un cenno dell' elettrometro di T. Cavallo.

L' elettrometro del Bohenberger è un istrumento sensibilissimo di fresca invenzione, comodo per l' esame tanto delle forti, quanto delle deboli elettricità. Nel secondo caso la unione del condensatore a questo elettrometro può servire bene.

111. La dottrina del Volta intorno al galvanismo si stabilisce con adoperare due dischi metallici, uno di zinco, uno di rame, ben levigati, al centro di ciascuno dei quali si adatta un manubrio isolante (di vetro) perpendicolare alla faccia del disco. Col mezzo de' manubrii i due dischi possono essere posti in contatto fra loro. Accostate in questo modo i due dischi (*fig.* 16) : separateli poscia, allontanandoli parallelamente. Nel separarli, Esposizione della dottrina del Volta sul galvanismo

il zinco si troverà elettrizzato vitreamente, elettrizzato resinosamente si troverà il rame. E perchè l'elettricismo che sviluppasi in un solo contatto è molto debole, si ripetono i contatti, e la elettricità che si ottiene per essi si accumula in un condensatore elettrico fino al grado di fare divergere le pagliuzze del medesimo: così ella sarà evidente. E se col disco di rame di questo apparecchio avrete interrogato il disco collettore, l'elettricismo che allontanerà le pagliuzze sarà resinoso, se lo avrete interrogato col disco di zinco, l'elettricismo sarà vitreo. Dunque il semplice contatto dei due diversi metalli in istato d'isolamento cagionerà che questi si mettano in istati elettrici differenti. Il Newton aveva già detto ,, l'attrazione elettrica forse estendersi a picciolissimi intervalli anche senza che lo strofinamento la destasse ,, (1).

112. Per facilitare la spiegazione del fenomeno la somma delle due elettricità diverse esistenti nei dischi sia rappresentata dalla unità, 1, e di queste la vitrea che manifesta lo zinco sia rappresentata da una metà, $\frac{1}{2}$, e la resinosa che manifesta il rame sia rappresentata dall'altra metà, $\frac{1}{2}$, della unità suddetta. La elettricità vitrea sia indicata dal segno della elettricità positiva del Franklin + cui corrisponde, la resinosa sia indicata dal segno della elettricità negativa —. Quindi elettricismo vitreo del zinco $+\frac{1}{2}$, elettricismo resinoso del rame $-\frac{1}{2}$. Lo stato naturale di un disco relativamente all' e-

(1) *Newton Opt. lib. III, quaest.* 31.

lettricismo, attesa la sua inattività, indicheremo col zero.

113. Or si tolgano i manubrii isolatori e, restando i due dischi fra loro in contatto, mettasi uno di essi in comunicazione col suolo. Tal disco acquisterà dal gran serbatoio una quantità di fluido sufficiente e propia per ridurlo allo stato naturale: la sua elettricità quindi resterà neutralizzata, inattiva. Lo stato elettrico dell'altro disco diverrà + 1, se il disco sarà zinco, e — 1, se il disco sarà rame. Il gran serbatoio fornirà il fluido necessario perchè avvengano questi cambiamenti; cioè perchè il zinco acquisti un eccesso di elettricismo vitreo, o il rame acquisti un eccesso di elettricismo resinoso.

114. Ma, in vece di farli comunicare con la terra, si tengano isolati insieme i due dischi, ed il disco zinco poi si metta in comunicazione con una sorgente di fluido vitreo tale che possa portare il di lui stato elettrico a + 3. In questa circostanza il disco rame diverrà — 2. Ripetasi l'esperienza impiegando il fluido resinoso. Finchè i dischi saranno uno all'altro sovrapposto, e ciò indistintamente, finchè i dischi si toccheranno, i due stati sempre differiranno fra loro di una unità.

115. Dietro l'anzidetto supponiamo che, dopo di aver situati sopra un isolatore (*fig.* 17) il disco di rame *r* ed il disco di zinco *z*, si metta sopra questo un cartone *h* bagnato di acqua salsa, che faccia l'uffizio del conduttore (come la lingua nello sperimento del Sulzer) e poi il disco di rame *r'* sopra il cartone. Ne seguirà che il disco zinco *z*, col mezzo del cartone, che fa da conduttore, dovrà

cedere la metà del suo fluido, al disco rame r': e siccome esso contiene $+\frac{1}{2}$ di fluido sembra a prima vista dovesse al rame cederne $\frac{1}{4}$. Or, se fosse così, lo stato elettrico del disco rame r sarebbe $-\frac{1}{2}$, e quello del disco zinco z serebbe $+\frac{1}{4}$. Ma la differenza fra questi due stati esser deve uguale alla unità, come abbiamo detto, e la somma dell' elettricismo dei tre dischi metallici uguale a zero, perchè essi erano nello stato naturale quando sono passati sull' isolatore. Diremo dunque che fra i tre corpi si stabilisca una nuova distribuzione di fluido, per la quale l' elettricismo del disco r sarà $\frac{2}{3}$, quella del disco $z + \frac{1}{3}$, e quella del disco $r' + \frac{1}{3}$. Supponiamo inoltre che al disco di rame r' si sovrapponga un altro disco di zinco z'. Ne seguirà un' altra distribuzione di fluido, e dovrà esser tale che il disco nuovamente sovrapposto contenga una unità di più del disco di rame r' : ciò che esprimerà un nuovo cambiamento nelle quantità relative de' fluidi de' dischi sottoposti al disco aggiunto z', in modo che lo stato elettrico del rame r' diverrà -1, quello dello zinco z' diverrà $+1$. Nel modo stesso si troverà lo stato elettrico de' diversi dischi che si potranno ancor sovrapporre, rammentando sempre che le quantità di elettricismo vitreo e di elettricismo resinoso formeranno due progressioni aritmetiche in ciascuna delle quali la differenza fra due termini consecutivi sarà la unità, e quindi che debba esservi una unità di differenza fra lo stato elettrico dei due dischi contigui di rame e di zinco; che non debba correre differenza di stato fra quello dei due dischi se-

parati dalla rotella di cartone umido; e che in tutt' i casi la somma delle elettricità dei differenti dischi deve essere uguale a zero.

116. Se il numero dei dischi è pari si conoscerà lo stato elettrico del disco *r* dividendolo per il numero 4, e notando il quoziente col segno della elettricità resinosa. Sieno 16 i dischi alternamente sovrapposti con la interposizione del cartone bagnato dopo ogni coppia. Dividete il 16 per 4. Quoziente, 4. Lo stato elettrico del disco *r* sarà — 4. Così lo stato dei 16 dischi sarà — 4 — 3 || 3 — 2 || — 2 — 1 || — 1 o || o + 1 || + 1 + 2 || + 2 + 3 || 3 + 4 (1). In questo caso la somma delle due progressioni sarà sempre zero; vi saranno tanti dischi superiori vitrei, quanti dischi inferiori resinosi; il disco inferiore ch' è rame, ed il superiore ch' è zinco saranno in due stati uguali ed opposti di elettricismo; due dischi presi ad ugual distanza dall'estremità saranno anche ugualmente ed in senso inverso elettrizzati. Inoltre l' azione diverrà nulla prima del passaggio dalla elettricità resinosa alla elettricità vitrea, così che nel mezzo di questa serie di dischi sovrapposti vi saranno due dischi nello stato naturale.

117. Se il numero dei dischi è dispari avrassi lo stato elettrico del disco *r* prendendo la metà di questo numero aumentato dalla unità, e la metà di questo numero diminuito dalla unità, moltiplicando queste due metà l' una per l' altra, dividendo il prodotto pel numero dei dischi, e notando il

(1) Il segno || indica le rotelle di cartone.

quoziente col segno della elettricità resinosa. Lo stato di cui discorriamo sottintende sempre che i dischi sieno isolati. Quando non saranno isolati esso cambierà. In fatti avete veduto (§. 113) che, mettendo un disco in comunicazione col gran serbatoio, tal disco riceverà una quantità di fluido, diverso dal suo, che lo ridurrà allo stato naturale, cioè a zero. Questa differenza porterà necessariamente differenza nello stato degli altri dischi, posto a confronto con lo stato loro d'isolamento ec.

Pila galvanica, o colonna del Volta

118. La pila galvanica o colonna del Volta, applicazione delle teorie or ora esposte, compongono quaranta o cinquanta dischi di zinco, altri tanti di rame, ed altre tante rotelle di tela o di cartone, imbevute di qualche liquido salino. Le soluzioni saline sono ottimi conduttori. Questi dischi e queste rotelle situansi sopra un isolatore nel modo seguente.

1. Disco di zinco
2. Disco di rame
3. Rotella di tela, e di cartone
4. D. di zinco
5. D. di rame
6. R. di tela, o di cart.
7. D. di zinco
8. D. di rame
9. R. di tela, o di cart.

Si continuano nello stesso modo ad elevare i dischi e le rotelle fino a che di tutto sia formata una colonna. Le rotelle bagnate debbono essere di un dia-

metro più picciolo dei dischi, ad oggetto che la comunicazione fra i dischi di metallo diverso non vada interrotta (§. 109). In luogo di dischi di rame possonsi adoperare anche dischi di argento. La grandezza data sul principio dal Volta ai suoi dischi fu di un mezzo coronato. Il diametro che oggi si dà loro è di dieci, quindici, e venti centimetri. Quando la colonna è formata si saggia con l'elettrometro e trovasi che la estremità inferiore, e la estremità superiore di lei sono nei diversi stati elettrici: vitreo o positivo quella in che finiscono i dischi di zinco, resinoso o negativo quella in che finiscono i dischi di rame: esse con le rispettive indicazioni di polo zinco e polo rame distinguerete.

Continuazione. Decomposizione dell'acqua

119. Supponete un composto binario in circostanza che delle sue molecole costituenti *a* e *b* le une elettriche vitreamente, le altre elettriche resinosamente divengano. Ciò posto sarebbe possibile separare le due specie di molecole, purchè fossero mobili, mettendo il composto in presenza di un corpo carico di fluido vitreo o resinoso, e a maggior titolo situandolo fra due corpi l'uno elettrizzato resinosamente, vetrosamente l'altro. Infatti la molecola elettrizzata resinosamente sarebbe attratta dal fluido vitreo e respinta dal resinoso, e la molecola vitreamente elettrizzata sarebbe respinta dal fluido vitreo ed attirata dal resinoso. Ecco una idea generale del modo di agire della pila voltiana.

CAPO XV.

Parallelo tra la elettricità ordinaria, e la elettricità galvanica

120. Toccate con una mano la sommità, polo zinco, della pila di Volta in comunicazione col gran serbatoio, e con l' altra mano la parte inferiore della medesima, polo rame. Voi proverete una commozione dello stesso genere di quella che produce la bottiglia di Leyda. In questa circostanza la pila dalla parte superiore si scarica dell' eccesso di fluido de' suoi dischi, mentre il gran serbatoio nuova quantità di fluido le fornisce onde compensare il fluido ch' ella emette. Ciò significa che con la pila in comunicazione col suolo si stabilisce una corrente elettrica non interrotta, la quale si divide fra gli organi vostri ed il suolo, e la quale nei primi cagiona la scossa.

121. Ma sia la pila isolata. Applicate a questa le vostre mani nello stesso modo che avete praticato prima. In questo caso la sua metà inferiore, essendo nello stato resinoso, tenderà subito a ripigliare dai vostri organi la quantità di fluido vitreo necessaria a farla ritornare nel medesimo stato in cui era prima che fosse isolata, cioè in quello nel quale ella era carica solo delle quantità di fluido vitreo che, crescendo, ascendevano fino alla sommità. In seguito la circolazione si stabilirà a traverso degli organi come nel caso di una pila non isolata. E, perchè gli organi sono i migliori conduttori, la colonna si caricherà di elettricismo meno rapida-

mente che nel primo caso. D' altronde bagnate di acqua le mani, e toccate nel modo indicato la pila isolata. La commozione sarà sensibilissima: anzi, se la colonna sarà di un numero di dischi doppio dell' accennato, l' urto sarà violento al segno di fare sentir dolore. Che se, non di acqua pura bagnerete le mani, ma di una dissoluzione salina, p. e. di muriato di soda (sal comune) o di muriato di ammoniaca (sale ammoniaco) la commozione sarà più forte.

122. La bottiglia di Leyda, messa in contatto della pila voltiana, si carica, e diviene capace di dare la scossa come la darebbe se fosse stata applicata sul conduttore di una macchina elettrica ordinaria. Se più persone tenendosi per mano, come nella sperienza della bottiglia di Leyda, formano una catena le cui estremità finiscono una al polo zinco, una al polo rame della pila, la commozione sarà generale, purchè le persone abbiano le mani bagnate, ed il numero loro sia proporzionato all'attività della pila.

123. Attaccate alla sommità della pila un sottil filo metallico, attaccandone un altro alla base di lei: si allontanino essi dalle estremità della pila in modo che uno finisca di rimpetto all' altro. Se questi fili saranno agevolmente mobili si determineranno all' approssimamento e giugneranno a toccarsi. Questo è un saggio dei due diversi stati delle estremità della pila e dell' attrazione fra loro.

124. Toccando le due estremità della pila con un fil di ferro si ottengono delle scintille al luogo del contatto, e talora il filo diviene quivi incande-

scente. Nel momento del contatto si veggono spesso molti punti luminosi in diverse parti della colonna.

125. Attaccate a ciascun polo della pila un filo di oro o di platino, la cui estremità opposta, passando a traverso il turaccio che chiude il collo di un imbuto di vetro rovesciato, si elevi per quattro centimetri in quello. In tal modo avrete i due fili ascendenti verso la parte larga dell' imbuto. Il turaccio sia vestito bene di ceralacca. Versate acqua nell' imbuto, coprite ogni filo con una picciola campana di vetro eziandio piena di acqua. Da ogni filo svilupperassi una corrente di gas. Di questi due gas quello sviluppato dal filo della estremità resinosa della pila avrà il doppio di volume del gas sviluppato dal filo della estremità vitrea, ed il secondo sarà ossigeno, il primo sarà idrogeno. E come è noto in chimica l' acqua essere composto d' idrogeno ed ossigeno, uniti nella proporzione di un volume d' ossigeno e due d' idrogeno, ne risulta i due gas essere precisamente nelle proporzioni che constituiscono l' acqua. In fatti la scintilla elettrica li ridurrà in questo fluido. Quindi conchiuderemo i due gas provenire dalla decomposizione dell' acqua, operata per la pila. Ricorderete che con la elettricità ordinaria anche l' acqua ne' suoi elementi si decompone (§. 78).

126. I migliori conduttori della elettricità ordinaria sono i migliori conduttori della elettricità ottenuta con la pila galvanica. I migliori isolanti della elettricità ordinaria sono gl' isolanti migliori della elettricità ottenuta con la pila galvanica. Similmente a ciò che abbiamo accennato, trattando della elet-

tricità ordinaria, tra i conduttori ed i non condutori galvanici non vi ha confine preciso (§. 15).

127. È già troppo lungo il parallelo che vi ho esposto fra la elettricità ordinaria, e la elettricità galvanica. Ne siete convinto. Solo è ad avvertire che l' azione elettrica, trasportata nella pila, produce i fenomeni analoghi alla elettricità ordinaria con quelle differenze che naturalmente deve accompagnare la diversità che passa fra i moti dei due elettricismi ne' due diversi apparecchi.

CAPO XVI.

Continuazione sulla pila galvanica

128. Oltre la pila galvanica a piastre circolari se ne adopera un' altra più comoda per le sperienze ed anche più attiva. Questa è il tino ovver truogolo galvanico. Prima di tutto sappiate che il fluido elettrico, essendo considerato come un composto binario, giova i dischi di rame e zinco sieno saldati insieme. Così otterrassi un perfetto contatto fra loro: ed ogni coppia di dischi, rappresentando un elemento binario (*lib. I.* §. 108) della pila, non potrà essere interrotta dalla ossidazione fra i due dischi. Ciò posto si saldino insieme a due a due, nel senso della pila, delle lastre rettangolari di rame e di zinco, delle quali un lato abbia dodici centimetri, un altro quattro, e col mezzo di un cemento resinoso (sostanza isolante) si assodino in un tino di legno ben secco. La piastra di zinco dovrà essere almeno tre volte più doppia della piastra di

Tino galvanico

rame. Sieno esse distribuite in modo che fra l'una coppia e l'altra risultino dei vacui da empirsi di una dissoluzione salina. Ogni superficie di zinco dovrà trovarsi opposta ad una superficie di rame, non altrimenti che nella pila. Le due estremità del tino vi offriranno i due poli galvanici. Si adoperano anche tini di porcellana. La *fig.* 18 vi darà la idea di un tino galvanico.

129. La pila verticale (§. 118) ha degl'inconvenienti. L'uso di rotelle di carta o di tela bagnate, a cagion della pressione verticale dei dischi, non è utile a contenere il conduttore umido. Oltre a poterne contener poco, le rotelle saranno obbligate a cederlo per espressione. Inoltre il fluido espresso, scolando lungo la pila, stabilisce una comunicazione più o meno grande fra tutte le parti, ciò che della pila diminuisce l'effetto.

Tazze a corona

130. L'apparecchio voltiano delle tazze a corona è composto di una seguela più o meno circolare di tazze di vetro o di porcellana, piene di un liquido conduttore, le quali sono come incatenate fra loro con degli archi, ciascuno fatto di due lamine saldate una di rame ed una di zinco, i quali si mettono a cavallo a due tazze contigue, e con le loro punte debbono essere immersi nel liquido conduttore. Ecco un'altra pila.

Pila dell'Accum

131. Ad ottenere in grande l'effetto che producono le pile a larghi dischi (§. 143 *e seg.*) si è introdotta la pila dell'Accum, ovvero pila a doppie lamine di rame. Essa di pochi complessi di lamine si compone ordinariamente (*fig.* 19). Questi sono sospesi ad un regolo di legno *a b* appoggiato a due

sostegni c c dai quali può essere separato per venire introdotto nelle scanalature inferiori *f f* dei sostegni e scendere quivi finchè i complessi sieno immersi nel liquido di cui sono pieni i vasi sottoposti d^1 d^2 d^3 d^4 d^5 d^6. I due metalli sono disposti così. Ogni complesso presenta una lamina quadrata di zinco z^1 z^2 z^3 z^4 z^5 z^6 situata in distanza di circa sei millimetri fra due lamine di rame r^1 r^2 r^3 r^4 r^5 r^6 della stessa figura, sebbene di doppiezza minore assai della lamina di zinco. Ciascuna delle due lamine di rame ha verso gli estremi de' suoi orli, superiore ed inferiore, due prolungamenti che ripieganși l'uno verso l'altro e si uniscono in modo di arco in modo che formano esse un corpo non interrotto. La lamina di zinco è nell' alto e nel basso impegnata in due pezzetti di legno che le danno una situazione fissa. Una serie di fasce di rame serve a mettere i complessi in comunicazione nel modo seguente. Una fascia di rame curvata in arco è saldata da una estremità al lato superiore della lama di zinco *z* e dall' altra estremità opposta ad un punto della superficie della lama rame *r* appartenente al complesso vicino. La parte media della fascia è piana, aderisce al regolo di legno ed a questo tiene sospesa la coppia. Questo sistema di fasce continua per tutto l'interno della macchina. Alle lame estreme, una di rame r^1 l'altra di zinco z^6, sono attaccate due altre fasce che si ripiegano in alto, attraversando il regolo, e terminano in due cilindri *e' e*. Ai cilindri si attaccano i due fili metallici fra' quali si situa il corpo che vuolsi sottomettere all' azione della corrente elettrica.

Quando devesi adoperar questa macchina si fanno scendere i complessi sino nell' interno dei recipienti sottoposti, e che precedentemente sono stati riempiti di un miscuglio di acqua e di circa $\frac{1}{20}$ di acido solforico. Questo fluido fa le funzioni del conduttore umido della pila del Volta.

132. Comunque sieno disposti sì fatti apparecchi il modo di agire sarà sempre lo stesso (1).

Modo di valersi efficacemente della pila voltiana

133. Per fare agire con efficacia la pila sopra di un corpo si adattano due fili conduttori metallici di ottone o di platino, l' uno al polo zinco, l' altro al polo rame, ed il corpo sul quale devesi fare

---

(1) » Fra i diversi corpi serviti a fare degli sperimenti elettrici prima del galvanismo, la turmalina sembra sia quello che abbia maggiormente analogia con una pila isolata, almeno per quanto ha rapporto alla distribuzione delle due elettricità. Nella turmalina, come nella pila, le azioni di queste elettricità diminuiscono gradatamente dalle estremità fino ad un certo termine dove si riducono a zero. Di più è facile comprendere che, se si dividesse una pila in molte porzioni, ciascuna composta di un dato numero di elementi, e se queste diverse porzioni si rendessero isolate, elleno diverrebbero tosto tante pile perfette, le metà delle quali sarebbero sollecitate da elettricità contrarie, come avviene nei frammenti distaccati da una turmalina. Non pertanto, a giudicarne secondo lo stato delle nostre cognizioni, esistono molte differenze notabili fra i due corpi. Nell' elettrizzamento della pila ogni fluido trasmettesi da un disco all' altro per l' intermedio di un conduttore umido; al contrario, quando la turmalina si elettrizza, ogni fluido dopo il suo sviluppo resta nella molecola in cui era prima in istato di combinazione. Inultre le densità elettriche della pila decrescono lentamente dalle estremità sino alla metà, dove elleno divengono nulle, e nella turmalina diminuiscono rapidamente, in modo che i punti dove elleno si riducono a zero sono più o meno vicini alle estremità ». Haüy *Traité de Phisique. De l' électricité.*

lo sperimento si mette in contatto con le estremità di questi, cioè alle estremità di questi si frappone. A circostanze uguali l'azione elettrica sarà tanto più grande, quanto la distanza tra i fili sarà più piccola e la comunicazione della pila coi fili sarà meglio stabilita. Però i fili non dovranno toccarsi. Perchè la comunicazione dei fili con la pila sia bene stabilita si salderà ciascun filo al polo corrispondente. Giova anche non deviare il fluido ricevendone scosse. Per la qual cosa si baderà di toccare i fili con mani bene asciutte o meglio con due tubi di vetro, a traverso i quali si fanno quelli passare. Thenard per conduttore umido del fluido galvanico consiglia l'acido nitrico del commercio (1), allungato con quattordici o quindici volte il suo peso di acqua.

134. Vi ho fatto cenno della scossa galvanica. Or toccandosi con la mano bagnata uno de' due fili della pila, e l'altro filo avvicinandosi ad uno degli angoli dell'occhio bagnato ancora, si vedrà balenare la luce. Se l'altro filo si porterà sulla lingua si sentirà un sapor forte disgustoso. Baleno galvanico. Sapore galvanico

135. Vi sono le pile dette secondarie. Le pile voltiane sulle quali ci siamo finora trattenuti sviluppano da loro stesse il fluido dal quale dipendono i loro effetti. Le pile secondarie, senza una azione spontanea come quelle, ricevono tal virtù dal contatto con le medesime. Una pila secondaria si mette in attività facendo comunicare le estremità sue con Pile secondarie

(1) » Gli acidi minerali sono i migliori conduttori liquidi che si conoscano ». *Davy*.

le estremità di una pila ordinaria. Dopo alcuni minuti si toglie la comunicazione. Allora si trova elettrizzata in modo che ognuno dei poli di lei è nello stato medesimo che il polo corrispondente della pila che ha servito a caricarla e, sostituita sopra un isolatore alla pila ordinaria, produce la commozione, le scintille, la decomposizione dell' acqua, e gli altri effetti fisiologici o chimici che da quella si ottengono. Solo le propietà di lei sono passeggiere, la virtù sua s' indebolisce e finisce dopo un breve tempo.

A promuovere lo stato di elettricità galvanica giova il contatto di sostanze diverse. Ad ottener quello della conducibilità corrispondente giova quello di sostanze simili.

136. Ritter è l' inventore della macchina che vi accenno. La pila secondaria si compone di dischi di rame, e di rotelle di cartone bagnato. Variando l' ordine ed il numero di questi mezzi egli ha ottenuto molti fenomeni d' importanza. Per esempio egli ha conosciuto che, di qualunque maniera si disponga un certo numero di conduttori eterogenei, la situazione la meno alterata è la più favorevole alla trasmissione della elettricità. Così, se si forma una pila di sessanta quattro dischi di rame, e di altrettanti dischi di cartone bagnati, disposti in tre masse in modo che tutt' i dischi di cartone facciano una unione continua terminata da una parte e dall' altra da trentadue dischi metallici, questa pila condurrà benissimo la elettricità della colonna del Volta, e per conseguente si caricherà poco o nulla in modo permanente. D' altronde, se i conduttori umidi sono interrotti da un disco di rame, la facoltà conduttrice si diminuisce: e più le interruzioni di questo genere saranno frequenti, più la conducibilità della macchina sarà diminuita.

137. Uno dei risultamenti dell' uso della pila secondaria è la cognizione che, come ad ottenere lo stato di elettricità giova il contatto di sostanze diverse, così ad ottenere quello di conducibilità giova il contatto di sostanze simili.

138. Pile galvaniche si formano anche con la disposizione alterna di altre sostanze oltre quelle accennate nel trattare della pila voltiana. Nella serie seguente molte di quelle sostanze osserverete. Esse a due a due, con l' interrompimento di opportune dissoluzioni saline, valgono a servir di pila voltiana. Le leggerete disposte nell' ordine della loro efficacia, Altre sostanze con le quali può formarsi la pila voltiana

Zinco
Ferro
Stagno
Piombo
Rame
Argento
Oro
Platino
Carbone

Ciascuno di questi corpi forma il polo vitreo verso i corpi che sono indicati sotto di lui, ed il polo resinoso verso i corpi che sopra di lui sono indicati.

139. Avvertite quei corpi imbevuti di acqua ch'entrano nella costruzion della pila concorrer eziandio alla produzione della elettricità: ma debolissimo concorrere in paragone dell' azion reciproca dei metalli. Questo può considerarsi come applicazione del I conduttori co' quali si accresce la energia della pila producono elettricità

principio stabilito nel §. 15. Ed in fatti nello studio dei fenomeni galvanici, del pari che nello studio della elettricità ordinaria, si osserva una quantità di sostanze intermediarie che, avendo in un grado debole la facoltà sia di condurre, sia di arrestare l'azione elettrica, in un modo e nell'altro questa manifestano. Tali p. e. sono, fra le altre, le parti organiche degli animali.

Eccezione relativa al galvanismo

140. D'altronde fra i termini di questa serie ve ne sono alcuni che, sempre uniformi negli sperimenti di elettricismo ordinario, in quelli che rapporto hanno con il galvanismo presentano alcune variazioni notabilissime. Così un medesimo corpo trasmette o arresta l'attrazione elettrica secondo le circostanze nelle quali è situato. Allorchè la fiamma dell'alcool comunica con un polo della pila solamente, e nel tempo stesso è in comunicazione col suolo, ella agisce come conduttore. Se poi è in comunicazione co' due poli insieme, resta isolata e agisce come corpo non conduttore. Finalmente, se mentre sta in comunicazione con i due poli, comunica con il suolo, ella fa da corpo isolante relativamente all'effetto del polo resinoso della pila, e da conduttore relativamente all'effetto del polo vitreo.

Distribuzione dell'Erman

141. L'Erman, cui si debbono molte scoperte di questo genere, riassumendo il diverso modo di agire dei corpi che possono mettersi in comunicazione con i poli della pila, ha stabilita una distribuzione metodica dei corpi, coordinata con le loro propietà distintive.

Egli divide i corpi in due grandi serie

I. Isolanti: cioè che non esercitano azione con-

duttrice, sia che le loro estremità comunichino successivamente, sia che comunichino nello stesso tempo con i poli della pila: questi sono i corpi resinosi ed il vetro.

II. Conduttori. I conduttori ricevono dall' Erman le seguenti suddivisioni.

A. Conduttori *perfetti*, come i metalli che sono ugualmente suscettivi di scaricare ciascun polo in particolare della sua elettricità e di stabilire una circolazione rapida da un polo all' altro. B. Conduttori *imperfetti bipolari*, e conduttori *imperfetti unipolari*. I primi sono quelli che, nel medesimo tempo in cui determinano una circolazione da un polo all'altro, hanno le loro due metà in due stati diversi: così è l' acqua. I secondi sono quelli che, posti in comunicazione con i poli della pila, e contemporaneamente con il suolo, conducono solamente l'elettricismo di un polo. Sono questi, *unipolari*, *positivi*, e *unipolari negativi*, secondo il polo che per loro è scaricato.

Tavola del sistema dell' Erman

Corpi	isolanti			
	conduttori	perfetti		
		imperfetti	bipolari	
			unipolari	positivi
				negativi

Il metodo dell' Erman può considerarsi come un mezzo utile all' ordinamento de' fatti, almeno fino a che l'esperienza non venga a contraddirlo.

CAPO XVII.

Continuazione sulla pila galvanica

L' accrescimento dei dischi accresce la elettricità della pila

142. Gli elementi della pila galvanica sono conduttori. Dunque l' elettrizzamento dei dischi della pila galvanica è alla superficie di quelli (§. 21). Dunque l' aumento delle coppie della pila presenterà accrescimento di superficie in istato elettrico, e così aumento di fluido in attitudine di produrre fenomeni elettrici. Questo aumento di coppie non solo cagionerà aumento di fluido in istato di produrre fenomeni elettrici; ma, per la successiva disposizion delle medesime, produrrà eziandio aumento di tensione. Accrescimento di tensione accrescimento produrrà di energia elettrica. In questo modo vedrete la ragione per la quale, se il numero dei dischi della pila del Volta è raddoppiato, l' attività della macchina cresce notabilissimamente.

Due pile di ugual numero di dischi, ma delle quali una abbia i dischi più larghi che l' altra hanno tensione uguale

143. D' altronde se si suppongono due pile di un egual numero di dischi, ma che la superficie dei dischi dell' una sia più larga della superficie dei dischi dell' altra, l' aumento nella prima di fluido in istato di produr fenomeni sarà evidente. Ma questo aumento produrrà egli che nella prima pila la tensione sia maggiore che nella seconda? Il profondo e diligente Van-Marum si è assicurato di nò. Una pila da larghi dischi può qui considerarsi come una unione di pile a dischi stretti, situate le une presso le altre, e delle quali ciascuna abbia una tensione uguale a quella di una pila separata. La tensione dipende dalla quantità del fluido accumulato in cia-

scun punto della superficie. Questo accumulamento o addensamento di fluido è il risultato dell' azione progressiva dei dischi. Il numero dei dischi è uguale nelle due pile. Dunque la tensione, risultato dell'azione progressiva dei dischi, sarà uguale nelle due pile, malgrado che in quella a dischi più larghi la quantità totale del fluido sia più copiosa.

144. Risulterebbe dall' anzidetto le pile di larghi dischi a numero uguale di coppie non essere maggiormente attive di quelle a piccioli dischi. Veramente non vi sarà differenza sensibile nella forza delle commozioni; però la pila a larghi dischi in alcuni casi è più all' uopo della pila a piccioli dischi: per esempio quando bisogna far passare molta quantità di fluido per bruciare fili metallici, ed in generale sempre che si vorranno ingrandire i fenomeni.

Quando la pila a larghi dischi è più efficace

145. Grande è la quantità del fluido elettrico che in brevissimo tempo si accumula nella pila voltiana.

Attività decomponente della pila. Batteria galvanica

Grande è l' attività decomponente di questa macchina, che in tentativi chimici riesce molto più efficace della macchina elettrica.

Il Gay-Lussac ed il Thenard fanno distinzione tra l' energia elettrica di una pila e la sua energia chimica. Esse non sono sempre nel medesimo rapporto. Una pila di ottanta coppie, caricata con un acido, decompone gli alcali; una di seicento coppie, caricata con una dissoluzione salina, malgrado abbia una tensione molto più considerevole, non offre lo stesso risultato.

Con la pila voltiana il chimico è riuscito a de-

comporre molte sostanze che non si credevano decomponibili. All' agire della elettricità, ottenuta col mezzo dei mezzi galvanici, non vi è aggregato a bastanza solido che non debba sciogliersi, non composto a bastanza fermo che non debba scomporsi. Per ottenere ciò, non trovandosi sufficiente l' attività di una sola pila, si riuniscono più tini galvanici messi in comunicazione fra loro, unione batteria galvanica denominata. La unione di due tini si fa per mezzo di un filo di ottone, terminato da due lamine dello stesso metallo che s' immergono una nel vôto vitreo di una pila ed una nel vôto resinoso dell' altra: così è evidente che le due pile saranno come se ne facessero una sola, l' una essendo continuazione dell' altra. Con questo metodo si potranno unire molte pile. I fili che dovranno trasmettere il fluido di un sistema di tini sopra un corpo qualunque partiranno uno dal polo resinoso del primo, uno dal polo vitreo dell' altro tino.

146. La teoria che dà la ragione della molta attività della batteria galvanica è applicabile all' effetto delle batterie composte di bottiglie di Leyda (§. 75).

147. Davy descrive una batteria galvanica eseguita per il laboratorio dell' Instituto di Londra. L' apparecchio consiste in 200 sezioni di batteria, messe in comunicazione, ciascuna composta di dieci doppie lastre, le quali trovansi inserite in truogoli di porcellana, e presentano per ogni lastra una superficie di 32 pollici quadrati (1). Così il numero

(1) Misura inglese.

totale delle doppie piastre è di duemila, e quello della superficie è di pollici 128,000 quadrati. Questa batteria, quando i truogoli sono pieni di un mescuglio di 60 parti di acqua con una parte di acido nitrico ed una di acido solforico, produce effetti sorprendenti.

Presentati tra i poli dell' apparecchio alcuni pezzi di carbone, ciascuno della lunghezza di circa un pollice e della spessezza di un sesto di pollice, trovandosi il carbone più prossimo alla distanza di un trentesimo o quarantesimo di pollice, scoppiò una scintilla elettrica, il carbone si arroventò a bianchezza per più della metà del suo volume, ed allontanati i pezzi di carbone gli uni dagli altri, successe una scarica elettrica continuata a traverso l'aria, ed in uno spazio di quattro pollici almeno, formante un arco ascendente di vivissima luce. Il platino introdotto in questo arco si fuse come la cera alla fiamma di una candela; il quarzo, lo zaffiro, la magnesia, la calce tutti entrarono in fusione, frammenti di diamante e di carbone si sciolsero in fluido aeriforme.

148. La più forte batteria galvanica che si conosca è quella della Scuola Politecnica di Francia. Ella è composta di seicento paia di lastre, ciascuna di ottanta centimetri quadrati di superficie. Gay Lussac, che volle riceverne la scossa, ne risentì forti effetti per lo spazio di ventiquattr' ore.

149. È notabile che, malgrado il vigore delle scosse galvaniche anche di grandi tini, la scossa cagionata da questi non si fa sentire alla metà di una

breve catena di quattro o di cinque persone. Non si prova la scossa che alla estremità della catena, e maggiormente nel braccio e nella parte del corpo che più prossimi stanno alla pila.

150. Secondo il Davy, se alcuni corpi esposti alla batteria galvanica resistono ancora alla decomposizione, la cagione sta nel non essersi prodotta in quella una intensità elettrica sufficiente ad operare il fenomeno.

Teoria del Grotthuss sulla decomposizione coi mezzi galvanici

151. Il Grotthuss la decomposizione di un corpo coi mezzi galvanici suppone avvenga nel modo seguente.

Se le due estremità di fili di platino, adattate ai poli di una pila in azione, si mettono in contatto con un corpo suscettivo di esser da questa pila decomposto, subito tutte le molecole costituenti le particelle (del corpo) situate fra il polo vitreo, ovver positivo, ed il polo resinoso, ossia negativo, si polarizzeranno, cioè il loro fluido elettrico particolare si decomporrà, e le une diverranno vitreamente elettrizzate, ovver positive, e si metteranno in faccia al polo negativo, mentre le altre diverranno resinosamente elettrizzate, cioè negative, ed in faccia al polo positivo si metteranno. Supponiamo che tra questi poli vi sieno solamente cinque atomi secondarii o molecole secondarie, e che ciascuno sia composto di due atomi nel senso degli antichi, ovvero molecole primarie: *a* rappresentati la molecola positiva e *b* rappresenti la molecola negativa della prima di tali molecole secondarie; *a'* la molecola positiva e *b'* la molecola negativa della seconda di

quelle ; ec. Ne risolterà la distribuzione espressa nella *fig.* 20, dove il polo vitreo ovver positivo è indicato dalla lettera V, ed il polo resinoso ovver negativo è indicato dalla lettera R. Ora il filo resinoso, ovver negativo, attirando tutte le molecole *a* e respingendo tutte le molecole *b*, ed il filo vitreo, ovver positivo, attirando tutte le molecole *b* e respingendo tutte le molecole *a* ne seguirà che queste si porteranno successivamente alla estremità del filo negativo nel tempo stesso che quelle si porteranno alla estremità del filo positivo.

In tale passaggio qualunque delle molecole negative non diventerà libera che dopo essersi combinata momentaneamente e successivamente con tutte le molecole positive che incontrerà nel suo passaggio, e reciprocamente qualunque delle molecole positive si combinerà con tutte le molecole negative in presenza delle quali si troverà. La molecola *b*, per esempio, lasciando la molecola *a* combinerassi con la molecola a', poi l' abbandonerà per combinarsi con la molecala a'', dalla quale si separerà per unirsi alla molecola a''' : essa arriverà così fino al filo positivo V dove, sviluppata da tutte le combinazioni, apparirà con tutte le propietà sue caratteristiche. Così la molecola a^{iv}, lasciando la molecola b^{iv} che la segue, si combinerà con la molecola b''' ec. d' onde si vede che le molecole a^{iv} e b', spinte in senso opposto da forze uguali, si combineranno ad ugual distanza dai due poli.

In vece di cinque molecole secondarie, o atomi secondarii, immaginate ve ne sieno molte tra i

due poli : a misura che si decomporranno come quelle che si ritroveranno nella corrente del fluido, saranno sostituite da altre: ed ecco come coi mezzi galvanici si opera la decomposizione: bisognerà solo che la pila sia sempre in azione.

152. Questi fenomeni saranno anche prodotti in caso uno dei poli della pila sia in contatto col gran serbatoio. Allora non vi sarà che un polo attrattivo e repulsivo, ma la sua forza avrà il doppio della forza che avrebbe se la pila fosse isolata. Ed in vero si consideri una pila isolata e formata da sei elementi, o dodici lastre, il polo resinoso ovvero negativo sarà — 3, ed il polo vitreo ovver positivo sarà + 3. Mettete in comunicazione uno di questi poli col gran serbatojo: tal polo diverrà zero e l' altro diverrà + 6, o pure — 6 secondo che si sarà stabilita la comunicazione del polo resinoso o del polo vitreo (§. 113).

Applicazione della teoria del Grotthuss. 153. La decomposizione dell' acqua per mezzo della pila può servire come applicazione della teoria del Grotthuss. L' acqua è un composto di due corpi i quali in istato di libertà sono due gas, uno cioè il gas ossigeno, uno il gas idrogeno. Sottoposta all' azion della pila, l' ossigeno si trasporta alla estremità del filo vitreo, o positivo, e l' idrogeno si trasporta alla estremità del filo resinoso o negativo. Per conseguente vedete le molecole di acqua polarizzate in modo che i loro atomi di ossigeno sono divenuti negativi ed i loro atomi d' idrogeno sono divenuti positivi.

Continuazio. 154. E a sapere l' idrogeno non combinarsi

quasi con alcuno de' metalli, l'ossigeno combinarsi con la maggior parte: se n' eccettuano l'oro, il platino, e qualche altro. Quindi l'ossigeno non si svilupperà in istato di gas alla estremità del filo positivo che nei soli casi in cui s' impiegheranno fili di oro o di platino; ma non così l'idrogeno, il quale si svilupperà in istato di gas alla estremità del filo negativo, anche senza che fili sia bisogno impiegare di oro o di platino.

ne sull' attività decomponente la batteria galvanica

155. Dietro l' anzidetto è evidente la decomposizione di un corpo per mezzo della pila dipendere dalla relazione che passa tra l'affinità reciproca dei principii di questi corpi, e la propietà ch' essi hanno di constituirsi in istati opposti di elettricità più o meno grandi; che la pila è capace di scomporre corpi le molecole dei quali esercitavano affinità molta fra loro: l' acqua ne dà un esempio. Altri esempii luminosi somministra la pila adoperata dal fecondo e sublime intelletto del Davy (1).

Idea del Berzelius sulle decomposizioni

---

(1) I risultamenti ottenuti dal Children relativamente alla fusione dei metalli debbono esservi accennati. Egli si valse di una pila distribuita in ventuno sezioni, di cui le lastre di zinco avevano sei piedi di lunghezza e due e otto pollici di larghezza, e ciascunà delle lastre di rame aveva una superficie doppia. Negli intervalli potevano capire tre litri e 784 di fluido. Due tubi di piombo erano saldati uno al polo positivo, uno al polo negativo, e con le loro estremità libere si tuffavano in due bacini di mercurio separati.

Prima volle il Children conoscere la facilità con la quale i diversi metalli entrano in accensione quando sono interposti all' azione dei due poli. A tal' uopo in ciascuno sperimento si servì di due fili di metalli diversi, ambedue insieme della lunghezza di otto pollici, e di $\frac{2}{3}$, di pollice di diametro. Ogni filo da una parte era in contatto

Il Davy, messo un pezzo di potassa fra due dischi di platino in comunicazione con un apparecchio voltiano di duecento coppie, vide dal polo vitreo svilupparsi ossigeno, al polo resinoso vide com-

col mercurio, che serviva di conduttore, e dall' altra era curvato ad uncino e così unito all' altro filo. Versata negli intervalli una parte di acido allungato con quaranta parti di acqua, egli ottenne i fenomeni seguenti.

Fili di platino e di oro	Ignizione del platino
Fili di oro e di argento	Ignizione dell' oro
Fili di oro e di rame	Ignizione di tutti due
Fili di oro e di ferro	Ignizione istantanea del ferro, e qualche tempo dopo del platino.
Fili di platino e di zinco	Ignizione del platino, e qualche volta fusione dello zinco.
Fili di zinco e di ferro	Ignizione del ferro; riscaldamento del zinco senza fusione.
Fili di piombo e di platino . . .	Fusione del piombo nel suo punto di contatto col platino.
Fili di stagno e di platino . . .	Fusione dello stagno nel punto di contatto.
Fili di zinco e di argento	Ignizione dello zinco prima di esser fuso.
Tre paia di fili di platino a di argento	Ignizione dei fili di platino.
Un filo di zinco fra due di platino	Ignizione dei fili di platino.

Poscia, portata la pila ad un altissimo grado di eccitamento versando negl' intervalli un' acqua carica del ventesimo del suo peso di una mescolanza di acido nitrico ed acido solforico, la fece agire sopra fili di lunghezze differenti e di differenti diametri.

In fine provò l' azione della batteria sopra l'iridio, e sulla lega d' iridio e di osmio, e si fusero entrambi. Il primo non si era ancor fuso, ed il secondo è meno fusibile del platino.

parire il metallo della potassa. Questa scoperta sorprendente lo portò ad altre scoperte del medesimo interesse. Così tutti gli ossidi e tutti gli acidi che contengono ossigeno, obbligati dalla pila con loro comunicante pel mezzo dell' oro o del platino (§. 153) a cedere l'ossigeno al polo vitreo, presentarono nel polo resinoso gli altri loro principii. Così si è scoperto e separato l' ossigeno che in apparenza terrosa teneva nascosta tanti metalli; e gli alcali fissi e le terre sono stati cancellati dal novero dei corpi semplici; e pruova evidente si è offerta alla sapienza umana di avere il globo un tempo arso in ogni dove.

156. Dai Chimici tentativi col mezzo della pila galvanica il Berzelius ha dedotto la conseguenza importantissima che le decomposizioni avvengano in virtù delle attrazioni esercitate fra' corpi e le rispettive elettricità. Quindi il Davy avanzò la brillante opinione di essere l'affinità identica con le attrazioni elettriche, ed i corpi che unisconsi per affinità possedere elettricità di specie diverse (1).

---

(1) Dove tratteremo dell'azione elettrica sull'ago calamitato avrete una idea dei circuiti termo-elettrici.

CAPO XVIII.

Pesci elettrici

157. Alcuni pesci col mezzo del contatto produr possono un effetto simile a quello della bottiglia di Leyda e della pila voltiana.

Anguilla del Surinam

158. Il più specioso fra questi è l'anguilla del Surinam, detta dal Linneo *gymnatus electricus* (1). Il Poli ci descrive un' anguilla del Surinam per lui osservata in Londra presso il Walsh. ,, L'anguilla, egli dice, era riposta in una vasca ove l'acqua mantenevasi continuamente ad un dato grado di tepidezza. Era lunga presso a due piedi e mezzo. Tosto che alcuno immergeva le mani nell' acqua della vasca, l'anguilla cercava di accostarvisi immediatamente, e col contatto produceva nel corpo di quello una violentissima scossa. Se in vece di una sola persona se ne univano molte, talchè tenendosi elleno per le mani avessero formato una catena, subito che la prima e l'ultima immergevano la mano nell' acqua, vedeasi correr l'anguilla, ed accostando ella il suo capo ad una mano e la sua coda all' altra, produrre nella intera catena una scossa gagliardissima, ancorchè le persone che la formavano fossero al numero di venti o di trenta. Lo stesso accadeva se le due persone anzidette, invece d'immerger la mano nell' acqua, tenevano impugnate due verghette metalliche i cui opposti estremi fossero tuffati nell' acqua medesima. E se mai la scos-

(1) Non ha alette sul dorso. Il suo corpo è compresso.

sa faceasi trapassare lungo un conduttore metallico in cui vi era una picciolissima interruzione (qual sarebbe p. e. l' incisione fatta con un temperino sopra una foglia di stagno) vedeasi lanciare in quell' atto una vivissima scintilla di fuoco dall' uno all' altro capo del divisato interrompimento. Il più mirabile di cosiffatto animale era che, qualora la catena era interrotta a segno che la scossa non potesi affatto trasmettere, l' anguilla non si accostava giammai ai due capi di quella per poterla produrre. Avendo io tuffato i due capi di due verghe metalliche nell' acqua della vasca, ed essendo queste assai lunghe, ne impugnai con le mani i capi opposti; sicchè si formò in tal guisa una continua catena : e qui avvertasi che, attesa la molta lunghezza delle mentovate verghe, stava io sì distante dalla vasca che l' anguilla non mi potea vedere. Ora, formando io la catena nel modo già descritto, l'anguilla vedeasi correre verso i capi delle verghe per darmi la scossa. Se prima ch' ella vi giugnesse io lasciava di stringere una delle verghe per interrompere la catena, ella deviava tosto dall' intrapreso cammino, e dirigeva altrove il suo corso. Se io impugnava la verga di bel nuovo, l' anguilla tornava indietro rapidamente per darmi la scossa. In fine, se in mia vece adopravasi un baston di vetro o pur di ceralacca per far la comunicazione co' due capi delle verghe, non succedeva giammai che l' anguilla si avvicinasse per isviluppare la sua efficacia ,, (1).

(1) *Poli*, Elem. di Fis.

La torpedia. 159. In molte coste del mediterraneo è comune la torpedine (1). Questo pesce è anche elettrico per contatto, sebbene ad un grado inferiore che l' anguilla del Surinam. La torpedine ha la propietà di stupefare le membra di coloro che la toccano, ciò che la denominazione di torpedine a lei ha fatto adattare. „ Gli arabi questo pesce chiamavano con un nome che nella loro lingua significa tuono (2). „ Il Walsh ha fatte molte osservazioni sulle propietà elettriche della torpedine.

160. L' organo con cui la torpedine esercita il potere elettrico è composto di una serie di tubi paralleli fra loro disposta intorno alle branchie (3). Una membrana copre tutti questi tubi per ogni lato. L' interno dei medesimi contiene una sostanza albumino-gelatinosa. Un sistema di nervi è in essi distribuito. In ogni altra specie di pesci elettrici si osserva un organo analogo a quello della torpedine. Ma questi organi non sono uniformi nelle varie specie, e non hanno in tutte la medesima situazione: anzi i tubi della stessa torpedine ora sono esagoni, ora pentagoni.

261. Gli effetti elettrici che veggonsi in alcuni pesci sono risultamenti nel senso galvanico (§. 127).

Il Volta, trattando dell' elettricismo della torpedine, è di opinione che fra le sostanze umide di cui è composto l' organo elettrico della torpedine al-

(1) È della spezie delle razze, o raze, lat. *raia*.

(2) *Raad* o *Raasch*.

(3) Le branchie sono quegli organi laterali della testa, che si aprono e chiudono a vicenda, e che servono alla respirazione del pesce.

cune sieno adattate a suscitare la elettricità col contatto scambievole, altre a trasmetterlo: in modo che la sovrapposizione di differenti strati formati da queste sostanze sia analoga a quella dei metalli e dei conduttori imbevuti di acqua che si succedono nella pila (1).

CAPO XIX.

Alcune opinioni

162. Il calorico è causa elettrizzante per alcuni minerali (§. 83, 90). La fusione ed il bruciamento dei metalli sono talora effetti elettrici (§. 78). Quali saranno i rapporti tra il fluido elettrico ed il calorico? Il Davy crede che il calorico potrebbe essere un composto di fluido positivo e di fluido negativo.

163. Ogni scaricamento di elettricità nell'atmosfera produce qualche cambiamento analogo alla com-

(1) Secondo il Fabroni di Arezzo il gatto è *un vero apparecchio elettrico.* » Se posto un gatto, egli dice, sopra le propie ginocchia, o sopra una tavola, lo sperimentatore applichi la mano sinistra al lato ugualmente sinistro del collo dell'animale, è con la destra ne ecciti la elettricità verso la coscia destra, dopo alquante strofinazioni egli proverà nella sua mano sinistra una scossa paragonabile alla scarica di una bottiglia di Leyda debolmente elettrizzata o a quella di una picciola pila del Volta. Quando l'atmosfera è eminentemente fredda ed asciutta la scossa è più forte, e si fa sentire ripetutamente di seguito dopo ogni tre o quattro strofinazioni. Talora il passaggio del fluido elettrico si annunzia con delle punture in diversi luoghi della mano . . . L'animale si esilara il più delle volte nella operazione; talora mostra adirarsene; la sua sensibilità ne resta sempre affetta in modo notabile . . . L'animale adulto da luogo generalmente e scariche più forti e più continuate . . . Per la buona riuscita dell'esperimento, oltre il favore delle disposizioni atmosferiche, è necessaria una disposizione propia dell'animale, che non è sempre uguale ».

bustione. Lo strofinamento eccita la elettricità; per lo strofinamento si ottiene calorico. L'elettricismo è un mezzo di scomposizione; il calorico, oltre la propietà di cambiare lo stato ed il volume dei corpi, ha quella di scomporne molti. La composizione (sintesi) dell'acqua e la infiammazione che l'accompagna sono prodotte, e dalla scintilla elettrica, e da innalzamento di temperatura. Tanto la elettricità, quanto il calorico facilitano la evaporazione, accrescono la leggerezza specifica dei fluidi elastici, favoriscono la combinazione onde l'acido nitroso producesi, accendono i licori spiritosi, promuovono la ossidazion dei metalli. La evaporazione effetto è di aumento di calorico; per la evaporazione aumento producesi di elettricità nell'atmosfera . . . Quindi tra il fluido elettrico ed il calorico grande analogia.

164. Le scintille elettriche tirate dal ghiaccio non sono fredde, e quelle tirate da un ferro rovente delle scintille ottenute dal ghiaccio non sono più calde. Questo fa dire al Biot sembrargli ,, che la temperatura dei corpi non abbia influenza sensibile sulle scintille elettriche che quegli emanano ,,. Egli, ricordando che con la pressione meccanica luce dall'aria si sprigiona, la luce elettrica, che dai fisici lungo tempo si è tenuta per una modificazione della elettricità, crede possa essere semplice effetto della compressione operata sull'aria dalla esplosione elettrica.

165. Espone il Biot che le scintille eccitate fra due conduttori elettrizzati in senso contrario, guardate col prisma, presentano tutt'i colori che compongono la luce ordinaria; ma che la tinta domi-

nante in loro varia secondo i diversi corpi ch' elleno attraversano, o dai quali sono tirate. In fatti nell' aria atmosferica e sotto la costei pressione ordinaria, quando la elettricità esce con esplosione da un metallo per entrare in un altro, la sua luce è bianca; ella diviene violetta se presentasi la mano ad un conduttore metallico elettrizzato; se uno dei corpi sottoposti alla esplosione sia una pianta umida, o acqua, o ghiaccio, la luce è rossa; infine fra i medesimi conduttori metallici il suo colore può variare dal bianco il più splendente sino al violetto il più debole, secondo la distanza alla quale è trasmessa la elettricità, e secondo la resistenza del mezzo che se le fa attraversare. È quasi inutile prevenire che questi fenomeni debbano essere osservati nella oscurità.

Soggiugne il Biot la intensità della luce elettrica dipender sempre dal rapporto ch' esiste fra la quantità di elettricità trasmessa, e la resistenza del mezzo che si oppone al passaggio di lei. Non vi ha dubbio che, alla esplosione, questo mezzo, ch'è l'aria, è subito respinto e ricalcato sopra se stesso. Ecco una compressione. La compressione dell' aria produce sviluppo di luce.

Dopo varie ingegnose prove, e dopo il dissipamento di alcune difficoltà, conchiude il profondo autore che „ la luce elettrica è certamente prodotta, almeno in parte, dalla meccanica compressione dell' aria, dei vapori, ed in generale dei mezzi che attraversa la elettricità; che niuna analogia potrebbe presentarsi come ostacolo alla opinione che tutta la luce sviluppata dalla esplosione elettrica non venisse da questa cagione; che niuna altra causa della luce

elettrica è annunziata o almeno indicata dai fenomeni „ (1).

166. Il Biot la sensazione particolare dell'elettricismo (§. 28) e l'odore elettrico (§. 29) non crede neanche propietà fisiche della causa elettrica. Egli spiega i fenomeni nel modo seguente. „ Le commozioni date dalla bottiglia di Leyda e dalle batterie elettriche dimostrano che la elettricità in moto scuote violentemente gli organi ed eccita in loro energiche contrazioni muscolari . . . . Quando un conduttore elettrizzato si presenta ad una parte qualunque del nostro corpo , in questa parte avviene una decomposizione delle nostre elettricità naturali , e quella ch' è di nome opposto a quella del conduttore condensasi alla estremità più a questo vicina. Questo moto interno , la partenza di questa elettricità , o la introduzione della elettricità che viene dall' esterno non debbono in noi produrre qualche sensazione ? Ed il solo contatto dell' aria che si rinnova ed elettrizza sulle parti della nostra pelle dove la elettricità è divenuta libera non deve anche eccitarvi qualche fremito ? Or se la cosa esser deve in tal modo non vi ha ragione da immaginare cause particolari per produr questi effetti. „

(1) Marianini di Venezia dimostra che » quando due o più correnti elettriche attraversano simultaneamente un conduttore , incrociandovisi in qualunque modo , o sia che tutte abbiano una stessa direzione , o sia che la direzione di alcune sia opposta a quella di altre , e sieno elleno prodotte da elettromotori uguali o inuguali , niuna di queste correnti prova per l'azione delle altre alterazione sensibile ». In tal propietà egli ravvisa analogia tra la propagazione della elettricità e quella della luce , i raggi della quale s' incrociano in qualunque direzione senza provare alterazione alcuna.

LIBRO VI.

DEL MAGNETISMO

CAPO I.

Idea del fluido magnetico.

1. La calamita è una miniera di ferro di color nericcio o ferrigno, e talora bruno o cencrognolo, che attrae il ferro. Mettetene un pezzo nella limatura di ferro: vedrete questa a lei molto aderire. Però la limatura non attaccasi ugualmente a tutta la superficie della calamita, ma principalmente a due parti opposte di lei, che sono nella direzione dei poli del mondo, e che perciò poli della calamita si denominano. Introduzione

2. La propietà attrattiva della calamita fu nota agli antichi, i quali questo minerale, oggetto per loro più di ammirazione che di studio, denominarono *magnete* (1). I moderni hanno scoperto che le virtù della calamita possono appartenere a tutto il ferro poco caricato di ossigeno.

Con la voce magnetismo s' indicano i fenomeni dipendenti dalla calamita e gli altri fenomeni dello stesso genere. I corpi che producono questi fenomeni diconsi corpi magnetici.

(1) *Quem magneta vocant patrio de nomine graji,*
Magnetum quia sit patriis in finibus ortus. Lucrezio.
Magnes appellatus est ab inventore, ut auctor est Nicander. Plinio.

Natura del fluido magnetico

3. La causa del magnetismo crediamo corporea. Essendo invisibile ed imponderabile, sottilissime esser debbono le sue molecole e per somma elasticità altamente disgregate. Se le dà il nome di fluido magnetico.

Teoria del fluido unico magnetizzante

4. Il Franklin credè il fluido magnetico un essere semplice particolare esistente in tutto il ferro, e quivi rarefatto quando il ferro dà segni di magnetismo, o condensato quando il ferro non dà questo segno. L' Epino, uno de' più illustri seguaci del Franklin sull' elettricismo, riconobbe nella turmalina il tipo della calamita, e le molecole del fluido magnetico, in cui egli anche vide un corpo semplice, considerò respingersi reciprocamente ed essere attirate dal ferro e dalla calamita. Egli fu il primo ad applicare felicemente il calcolo ai fenomeni magnetici, estendendo al magnetismo la ipotesi frankliniana sull' elettricismo, per lui tanto avvalorata.

Teoria dei due principii magnetici

5. Il Prevost ed il Coulomb suppongono il fluido magnetico essere, a somiglianza del fluido elettrico, composto di due principii combinati fra loro in quel ferro che non dà segni di magnetismo, ed in libertà nel ferro ch' è in istato magnetico; le molecole di ciascuno dei due principii respingersi fra loro e le molecole attirare dell' altro principio : azioni che il Coulomb ha dimostrato essere in ragione inversa del quadrato delle distanze. Così la legge che promuove le attrazioni e le repulsioni magnetiche è uniforme a quella della gravità universale scoperta dal Newton ed a quella che, secondo le dimostrazioni del Coulomb, promuove le attrazioni e le ripulsioni elettriche. Per conseguente, nelle circostanze di at-

trazione magnetica, se la distanza è due l'attrazione è quattro, e nelle circostanze di ripulsione magnetica se la distanza è due la ripulsione è quattro.

La teoria dei due principii componenti il fluido magnetico è ricevuta come la più probabile. Noi l'adottiamo.

6. I due principii magnetici, nello scaricarsi uno verso dell'altro allorchè si combinano, procedono, come il fluido elettrico, in modo conforme alle leggi ordinarie dei liquidi (*lib. V*, §. 9): ciò esprime corporeità (§. 3). Prova di corporeità

7. I due fluidi componenti il fluido magnetico, o stanno combinati fra loro nel corpo; allora non danno cenno di magnetismo, e costituiscono il fluido magnetico naturale del corpo: o sono separati uno dall'altro, stato di decomposizione del fluido magnetico; ed allora il corpo è in istato magnetico, ovvero è magnetizzato, cioè in grado di produrre fenomeni magnetici. Stato naturale, stato magnetico

Anche nello stato di magnetizzamento i due fluidi rimangono nell'interno del corpo, e per questo lato i corpi magnetici agl' isolanti paragonerete.

8. La materia del corpo magnetico oppone una resistenza al movimento dei due fluidi in quel corpo. Questa resistenza il Coulomb denomina forza coercitiva, come quella che agisce nei corpi isolanti. Più il corpo è duro, più è vigorosa la forza sua coercitiva verso il fluido magnetico. Quindi l'acciaio ha più forza coercitiva del ferro dolce. Forza coercitiva

9. La disposizione nel corpo magnetico dei fluidi risultanti dalla decomposizione del suo fluido naturale è a' termini generali indicata nel §. 1. Avete Polarità magnetica

veduto la limatura di ferro non attaccarsi ugualmente a tutta la superficie della calamita, ma principalmente in due parti opposte di essa. Ciò significa che i due fluidi, pel magnetizzamento divenuti liberi, si manifestano verso due estremità opposte del corpo, dove esercitano azioni analoghe a quelle della elettricità vitrea e della elettricità resinosa. Ecco la sintesi della polarità magnetica. I punti del corpo magnetizzato dove la polarità è più intensa diconsi centri di azione. Ma, mi direte, come si vede che la disposizione dei poli della calamita, i quali sono le parti opposte di lei dove i fluidi liberi si manifestano, corrisponda ai poli del mondo?

Abbiate per ora come conosciuto l' ago magnetizzato e le verghe di ferro magnetizzato esercitare tutte le funzioni ch' esercita la calamita.

L' esempio più ordinario degli aghi calamitati lo abbiamo nella bussola nautica. Movete in qualunque senso l' ago di questo istrumento. Costante nel disporsi, esso, abbandonato a se, si situerà sempre in una direzione che va dal settentrione al mezzogiorno, o dal mezzogiorno al settentrione ch'è lo stesso. Dopo questa osservazione, toglietc l' ago dalla bussola, e mettetelo nella limatura di ferro: questa aderirà alle due estremità dell' ago che nella bussola nella direzione dei poli del mondo si constituiscono.

Analoga tra una calamita ed il globo

10. Il globo verso l' ago calamitato esercita costantemente le stesse funzioni che questo esercita sulle particelle della limatura di ferro. Per convincervene non avete che a confrontare nella vostra mente i due qui esposti fenomeni. In fatti l' ago nel

senso dei suoi poli attira le particelle di ferro : ed il globo nel senso dei suoi poli attira l' ago , così che il globo può considerarsi come una gran calamita in attività.

11. Dopo l' esposto nei §§. 9 e 10 la idea di due fluidi, attrattivo e ripulsivo, nel senso dei fluidi vitreo resinoso (§. 5) porterà a conchiudere che il polo dell' ago diretto al nord è nello stato contrario a quello del polo del globo ch' è nella stessa parte : e perchè questo ultimo polo esser deve il vero polo nord relativamente al magnetismo, come lo è relativamente ai quattro punti cardinali, sembra più conveniente dare il nome di polo australe alla estremità dell' ago ch' è girata verso il nord, ed il nome di polo boreale alla estremità opposta. Per conseguente il fluido australe diremo quello che si contiene nella parte dell' ago più vicino al nord, e quello che si contiene nella parte dell' ago situata verso il sud denomineremo fluido boreale.

Fuido australe, fluido boreale

Quindi il fluido magnetico allo stato naturale è una combinazione di fluido boreale e di fluido australe, non altrimenti che il fluido elettrico allo stato naturale è una combinazione di fluido vitreo e di fluido resinoso.

CAPO II.

Magnetizzamento

12. Le prime propietà ad osservare del magnetismo sono l' eccitamento magnetico, e l' attrazione e la ripulsione da questo eccitamento dipendenti.

Magnetizzamento. Attrazione magnetica

13. La limatura di ferro che avete veduto attaccarsi ai poli della calamita (§. 1) si offre in forma di tanti piccioli raggi le particelle dei quali aderiscono fra loro a modo di filza, e ciascuna nel senso dei poli che l' attirano. Da tal fenomeno si deduce che il contatto della calamita rompe lo stato naturale del fluido nascosto nelle particelle di ferro, obbligando tutte queste allo stato magnetico nel senso dei poli della calamita; ed opera l' attrazione fra loro nel senso stesso: ciò significa che, quando ad un corpo magnetizzato si presenta il ferro non in istato magnetico, il primo comunica al secondo un magnetismo contrario a quello del polo che gli è più vicino. Per ottenerne un esempio in grande prendete più verghe di ferro della qualità in cui si valgono i magnani a fabbricar chiavi e, dopo di esservi bene assicurato non posseder quelle magnetismo sensibile, sospendetene una ad uno dei poli della calamita. Subito la estremità di questa verga opposta alla estremità che si trova in contatto con la calamita avrà le propietà magnetiche; lo stesso avverrà di una seconda verga che avvicinerete alla prima con una direzione uniforme alla descritta; lo stesso in fine di quante altre verghe si sospenderanno in quel modo, e ciò fino a che il peso totale delle verghe eccederà quello che la calamita può sostenere.

Il fenomeno dell' attrazione anche fra due calamita

14. L' esposto fenomeno dimostra insieme che l' attrazione si esercita indistintamente così pel contatto di una calamita col ferro non magnetizzato, come fra calamita e calamita. In fatti i raggi (§. 13) che intorno formansi ai poli della calamita sono

composti di particelle congiunte a modo di filza, serbando una direzione corrispondente ai poli che le attirano. Ognuna delle particelle della limatura componenti un raggio, da che tira a se un' altra particella di ferro nella direzione in cui è disposta, dobbiamo considerar magnetizzata. Ecco dunque tante particelle calamitate una attrarre l' altra. Lo stesso delle verghe di ferro.

15. È ad avvertire che tra le verghe di acciaio l' aderenza, effetto del magnetizzamento, si stabilisce con minor facilità che tra le barre di ferro dolce. Ciò a ragiono della forza coercitiva (§. 8). D' altronde, quando tra le verghe di acciaio l'aderenza è avvenuta, allora ella è più durévole, lo stato magnetico è più lungo: diciamo lo stesso, e per la stessa ragione, del ferro battuto a freddo. Applicazione intorno alla forza coercitiva

16. Un' altra circostanza chiama ora l'attenzione nostra. La comprenderete con lo sperimento che vengo ad esporvi. Sieno sotto la indicazione A i poli australi di due calamité, e sotto la indicazione B i poli boreali delle medesime. Or, se si mette il polo A di una delle calamite in contatto col polo B dell' altra, esse si attireranno reciprocamente, lo avete veduto: la loro disposizione sarà nel senso delle verghe di ferro (§. 13). Ma se delle due calamite i poli sotto la stessa indicazione si metteranno in contatto, cioè A ed A, o B e B, essi si respingeranno. Ripulsione magnetica

17. Dunque l' attrazione fra calamita e calamita è fra i poli diversi; la ripulsione è fra i poli simili. Questa teoria, che vale indistintamente per le calamite originarie e pel ferro magnetizzato, pre- Idea degli aghi magnetizzati

senta due specie di magnetismo, una in un polo, una in un altro. Ecco i due fluidi boreale ed australe in istato di libertà; ecco le molecole simili dei due fluidi respingervi reciprocamente, le diverse reciprocamente attirasi.

18. La calamita può considerarsi come un corpo in istato di magnetizzamento continuo.

CAPO III.

Bilancia magnetica

19. Vediamo ora come il Coulomb riuscì ad osservare che le ripulsioni e le attrazioni magnetiche seguano la ragione inversa del quadrato delle distanze.

Per essere in grado di concepir comodamente la esperienza del Coulomb vi è d' uopo qualche antecedente.

20. Gli aghi calamitati, ovvero magnetizzati, detti anche magnetici, per la sensibilità loro giovano molto alle osservazioni. Essi sono di acciaio, e possono magnetizzarsi nello stesso modo che avete veduto divenir magnetiche, e le particelle di limatura, e le barre di ferro. Seguiamo il fenomeno da vicino. Formate con un filo di acciaio un ago di cinque o sei millimetri di lunghezza. Accostatelo con una delle sue estremità al polo boreale o al polo australe di una calamita. Immaginiamo lo accostiate al polo boreale. Per ben eccitare il magnetismo strofinate a questo polo tal' estremità dell'ago a più riprese. I fluidi liberi della calamita agiranno amendue sul fluido naturale dell' ago : ma il polo

boreale di lei, perchè con l'ago in immediato rapporto, prevale. Allora, seguendo la decomposizione del fluido dormiente nell' ago, il pólo boreale della calamita verso la estremità dell'ago a lui corrispondente attira il fluido australe di questo: ciò in vigore dell' attrazione tra' fluidi diversi. Contemporaneamente il fluido boreale della calamita respinge il fluido boreale del medesimo ago: ciò in vigore della ripulsione tra i fluidi simili. Quindi è che la estremità dell'ago stropicciata al polo boreale della calamita ha acquistato il magnetismo australe. E perchè i due fluidi, quando divengono liberi, si manifestano in due estremità opposte del corpo per loro magnetizzato, devesi conchiudere che la parte dell' ago opposta a quella magnetizzata dalla calamita abbia acquistato il magnetismo boreale. A vederne la prova basterà accostarla al polo boreale di un altro simile ago calamitato: i due aghi si fuggiranno.

Gli aghi magnetici si equilibrano o per mezzo di un asse appoggiato a due piani orizzontali, o sopra di un perno, o sospesi ad un filo.

21. Vedete già l' ago magnetico agire come una calamita.

La disposizione dell' ago magnetico essendo uniforme a quella della calamita, esso tiene constantemente le sue estremità fra' poli boreale ed australe.

22. Supponete un piano verticale nella direzione dell' ago magnetico. Il circolo che coincide con questo piano dicesi meridiano magnetico. Esso, come vedrete, differisce dal meridiano astronomico perchè alquanto da questo si allontana. Meridiano magnetico

23. È ad avvertire che, nei corpi elettrici serviti al Coulomb per ricerche analoghe a queste, tutte le forze potevansi considerare come se fossero riunite in un solo centro di azione; ma che relativamente ai corpi magnetizzati la cosa non era così. In questi doveva il Coulomb considerare continuamente due centri di azione in due stati opposti. Sapete questi essere a picciola distanza dalle estremità del corpo magnetizzato (§. 9).

Apparecchio del Coulomb per provare che le azioni magnetiche sono in ragione inversa del quadrato delle distanze

24. Il Coulomb della sua bilancia elettrica fece una bilancia magnetica (*lib. V*, §§. 37, 38, *fig. 4*) Egli con un lungo ago calamitato rimpiazzò la picciola leva sospesa al filo metallico, ed alla palla di rame sostituì un altro ago situato verticalmente fuori del meridiano magnetico. La disposizione natural dei due aghi era in modo che quando l' ago mobile portavasi a toccar l' altro ago, esso, conservando la propia situazione quasi orizzontale, toccava con uno dei suoi centri d' azione il centro inferiore del secondo.

La tendenza naturale dell' ago a ritornare nel suo meridiano magnetico era una azion particolare che si componeva dalle azioni reciproche dei due aghi, delle quali bisognava trovare le relazioni, sviluppandole da questa combinazione. A giugnervi Coulomb comparò la prima forza sola con la forza di torsione, ed osservò che, se si torceva il filo di ottone cui l' ago mobile era sospeso, la torsione, operante un angolo di 35 gradi, produceva che l' ago si allontanasse di un grado dal suo meridiano magnetico: che se si torceva il filo sotto angoli successivamente doppii, tripli, quadrupli dei 35

gradi, l'ago si allontanava corrispondentemente di 2 gradi, di 4 ec. dal suo meridiano magnetico: così, sottraendo la quantità di cui il filo in virtù del moto dell'ago erasi detorto, risultava la forza dell'ago, per reagire ad ogni torsione, equivalere a tante volte 35 gradi di torsione, quanti gradi acchiudeva l'arco che misurava la distanza fra l'ago ed il meridiano.

25. Or sia *g* la situazione del polo inferiore dell'ago fisso, ago verticalmente situato fuori del piano del suo meridiano magnetico. Il polo dell'ago supponiamo essere il polo australe. Mettete in contatto con questo il polo dello stesso nome *d* dell'ago mobile *d e*, e ciò in modo che il filo metallico non abbia torsione alcuna. Tosto l'ago fisso respingerà l'ago mobile ad una distanza di 24 gradi.

Intanto la tendenza a ritornare al meridiano agisce in senso contrario del moto che ha fatto l'ago mobile, e per conseguente esso diminuisce di altrettanto la vera ripulsione, o quella che avrebbe luogo se questa tendenza fosse nulla: cioè questa tendenza rimpiazza la forza di torsione che bisognerebbe aggiugnere a quella dei 24 gradi per mantener l'ago nella medesima distanza in virtù della sola ripulsione. Ma, allorchè l'ago è a 24 gradi dal meridiano, la torsione che misura la sua tendenza a ritornarvi è uguale a 35 volte 24 gradi (§. 24), che fanno 840 gradi. Dunque la ripulsione che doveva valutarsi equivale ad una torsione di 840 gradi, più 24 gradi, ovvero di 864 gradi.

Mentre le cose sono in tale stato il Coulomb dà al filo metallico una nuova torsione, uguale a

tre circonferenze di cerchio, in senso contrario del moto dei 24 gradi che aveva già scorsi l'ago sospeso al filo, ed allora questo ago si accosta alla distanza di 17 gradi dall'ago fisso. Ora tre volte 360 gradi, in che si divide la periferia di un circolo, fanno 1080 gradi, e poichè questa torsione non è che una continuazione di quella che già esisteva (1) e che trovasi ridotta a 17 gradi, si avranno 1097 gradi per la torsione che misura la forza ripulsiva scambievole dei due aghi, meno la tendenza a ritornare al meridiano. Ma questa tendenza equivale ad una forza di torsione di 17 volte 35 gradi, ovvero di 595 gradi: dunque, se si aggiungono 595 gradi a 1097, la somma di 1692 gradi darà la torsione che fa equilibrio alla ripulsione che bisognava valutare.

Segue da ciò che le due ripulsioni sono fra loro come 864 a 1692, cioè in un rapporto che si avvicina molto a quello di 1 a 2. Ma le distanze corrispondenti erano 24 e 17, i quadrati delle quali, 576 e 289, accostansi molto alla relazione che passa tra 1 e 2. Dunque le ripulsioni magnetiche seguono la ragione inversa del quadrato delle distanze.

(1) Se la torsione fosse prodotta da un moto impresso immediatamente all'ago mobile, per continuare a torcere il filo, bisognerebbe far girare l'ago, secondo il senso del suo primo moto, in un arco di 24 gradi. Ma qui la torsione avviene col mezzo della estremità superiore del filo, per la rotazione impressa al gambo dove il filo è sospeso, e perciò si comprende che, per continuare la torsione del filo, uopo è il gambo giri in senso contrario del moto inferiormente ricevuto.

26. Risultamenti analoghi sonosi ottenuti sostituendo l' attrazione alla ripulsione.

27. Le attrazioni e le ripulsioni magnetiche hanno grande analogia con gli effetti che presentano i corpi isolanti dei quali una parte è allo stato vitreo, una allo stato resinoso, e particolarmente la turmalina.

CAPO IV.

Di alcune azioni magnetiche

28. Tra due pezzi di ferro in istato naturale i due fluidi si neutralizzano reciprocamente come avviene di due corpi elettrici allo stato naturale. Due pezzi di ferro in istato naturale

Dicesi comunicazione del magnetismo l' azione di un corpo in istato magnetico sopra un corpo in istato naturale. Potrebbe meglio denominarsi eccitamento magnetico.

29. Il cenno del maguetizzamento degli aghi (§. 20) vi dà una idea dell' azione della calamita sul ferro in istato naturale. Ma vi è d' uopo conoscere qualche altra particolarità del fenomeno relativamente al gioco reciproco dei fluidi boreale ed australe dei due corpi. Azione della calamita sul ferro in istato naturale

Una verga di ferro (*fig.* 1) in istato naturale O sia nella sfera di attività della calamita R. Il polo boreale B di R sia volto verso la verga. La forza B di R, uguale alla prevalenza della forza B sopra la forza A, agirà per decomporre il fluido naturale di O. L' effetto sarà l' attrazione verso *a* del fluido australe sciolto dalla combinazione, e la ripulsione verso *b* del fluido boreale. Ciò significa che la verga

o acquisterà la virtù magnetica, in modo che i poli più vicini dei due corpi saranno quelli di nomi diversi: laonde l' attrazione sarà prodotta fra questi. Un simile risultato si avrà se la verga sarà presentata dal lato opposto alla calamita R, in guisa che questa presentasse al ferro il polo australe A. Questo è un fenomeno analogo a quello nel quale un corpo elettrico toglie un corpo dallo stato naturale ed a se lo attira (*lib. V* §. 57).

Intanto la verga magnetizzata agisce dal suo lato sulla calamita che ha in lei promosso il magnetismo. Ella decompone una nuova porzione del fluido naturale della calamita, e di questa una parte è attratta verso il polo più vicino alla verga, mentre l' altra è respinta verso il lato opposto.

E quando si metteranno in contatto i poli diversi di due calamite? Gli stessi cambii di fluidi, lo stesso fenomeno.

30. Quindi è che il ferro non magnetizzato in contatto con il corpo in istato magnetico accresce di questo la forza magnetica.

Trasmissione dell' azion magnetica

31. L' azione magnetica trasmettesi liberamente a traverso tutt' i corpi che non sono capaci di acquistarla. Frapponete a due calamite una tavola, una lastra di vetro, una lastra di rame, la fiamma, mettetene una nell' acqua, l' altra a quest' acqua tenete superiore: l' azione fra le due calamite continuerà. I ciarlatani talora si sono valuti di questa propietà magnetica per dare aspetto di prodigio ad effetti naturali.

Disposizione delle particelle

32. Mettete orizzontalmente, una seguendo la direzione dell' altra, ed in distanza di alcuni cen-

timetri fra loro, due verghe di ferro magnetizzato, i poli opposti delle quali sieno volti dalla stessa parte. Copritele poscia con una lastra sottile di vetro, o con un foglio di carta sparsa di limatura di ferro. Subito le particelle di ferro si disporranno in modo che formeranno una moltiplicità di curve più o meno aperte intersecantisi fra loro nei punti situati sopra le estremità esterne delle due verghe magnetizzate (*fig.* 2). In questo fenomeno nel quale vedete l' azione magnetica trasmessa, malgrado la interposizione della lastra o della carta, la disposizione delle particelle di ferro a modo di tante curve è un' applicazione della teoria esposta nel §. 13, conciliata con alcune circostanze particolari, dipendenti dalla situazione delle due verghe magnetiche, e dall' interponimento del vetro o della carta.

di ferro in tante linee curve per l' azione magnetica

CAPO V.

Distribuzione dei fluidi boreale ed australe nei corpi

33. I fluidi boreale ed australe liberi sono distribuiti nell' interno del corpo magnetizzato in modo analogo a quello delle elettricità intorno ad un conduttore o in una turmalina. Tal distribuzione avviene in generale in modo che le densità dei due fluidi sieno molto considerevoli verso le estremità del corpo in istato magnetico (§. 9), decrescendo rapidamente sino a divenir nulle verso il mezzo di quello. In un filo di acciaio di 67 centimetri di lunghezza la distanza dalle estremità non era che di 22 millimetri.

Distribuzione analoga a quella del fluido elettrico

Metodo per conoscere i centri di azione magnetica

34. A conoscere i centri di azione in un filo di acciaio magnetizzato si mette questo in una disposizion verticale di rimpetto ad un ago di bussola, liberamente sospeso, e si fa salire e scendere in modo che i differenti punti della sua lunghezza si presentino successivamente all' ago. Nel corso della sperienza si noterà che l' ago avrà una tendenza sensibile verso alcun punto del filo: punto poco lontano dalla estremità del filo nel medesimo lato. Lo stesso di una verga magnetizzata.

Ogni molecola di ferro può formare una picciola calamita

35. La forza dei due fluidi boreale ed australe liberi nel corpo magnetizzato segue la legge della ragione inversa del quadrato delle distanze. Da ciò risulta che la distribuzione di quelli nel corpo magnetizzato dipende dalla legge della ragione inversa del quadrato delle distanze, e che la energia de' medesimi si manifesti con quella legge.

A prima vista l' azione di ogni metà del corpo magnetico sembra dipendere unicamente dalla presenza di un solo dei fluidi in istato di libertà. Ma vedrete fra poco la necessità di ammettere una ipotesi del Coulomb, analoga ad altra da lui proposta relativamente alla disposizione delle elettricità nella turmalina (*lib. V.* §. 68), con la quale ogni molecola di ferro è considerata come una piccola calamita fornita del suo polo boreale e del suo polo australe, uguali in forza tra loro. Dice questa ipotesi tutte le picciole calamite, di cui la verga magnetica è il complesso, essere in varie file ordinate parallelamente all' asse della verga in modo che il polo boreale dell' una è contiguo al polo australe della seguente, e così a vicenda. Or vediamo come la ipo-

tesi del Coulomb offra l' equivalente di ciò che avrebbe luogo se ogni metà della calamita fosse in uno stato magnetico, secondo potrebbe giudicarsi dall' apparenza.

36. Suppongasi un ago magnetizzato da una calamita cui sia presente (*fig.* 3). Sia P Q la seconda, *p q* sia il primo. Dividiamo con la immaginazione la calamita in tante parti E, F, G, H, I, K, L, M. Lo stesso dell' ago come *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*. Con questi dati avremo una serie di calamite nelle quali le forze dei poli contigui B, A', B' A'' ec. si distruggeranno scambievolmente, e così P Q secondo l'attual supposizione potrà agire sull' ago *p q* solo con l' aiuto delle forze residenti nei poli estremi, cioè A della parte E, e B della parte M. Or ciascuna di queste forze è quella di un fluido che si estende sopra una superficie uguale alla base della parte E, o M composta d' infiniti punti d' onde risulta agir ella a distanze determinate sopra tutte le particelle *e*, *f*, *g*, *h*, ec.

Intanto il fluido del polo superiore A attrae il fluido boreale del polo *b*, *b'*, *b''* ec. di ciascuna delle particelle e respinge il fluido australe del polo *a*, *a'*, *a''* ec. Dunque vi sarà un numero di molecole eterogenee che in ogni parte dell' ago riunendosi concorreranno a ricomporre una porzione del fluido naturale. Ma il fluido del polo A agisce più sulle parti vicine della estremità *p*, e meno sopra quelle che da *p* sono a certa distanza. Dunque la quantità di fluido naturale ricomposto decrescerà da una parte all' altra, e per una conseguenza necessaria le porzioni di fluido che rimangono allo stato

di libertà andranno al contrario crescendo dopo le estremità *m*. Gli stessi effetti avverranno in senso contrario in virtù del polo inferiore B sulle particelle M, L, K ec.

Dall' anzidetto risulta che se rappresentansi per *a*, *b*, *a'*, *b'* ec. le quantità di fluido rimasto libero nelle particelle di cui queste lettere hanno servito ad indicare i poli, e se si comparano le due particelle *e*, *f* si avrà *a'* più grande che *b*; del pari paragonando *g* ed *f* si avrà *a''* più grande che *b'*: d' onde conchiuderemo l' azione *a'''* meno *b''* delle due particelle seguenti equivalere a quella di un polo australe, animato da una forza uguale all' eccesso di *a'* sopra *b*, o di *a''* sopra *b'*. Con un discorso simile rapporto ai poli seguenti sino alla metà dell' ago *p q* si conchiuderà che tutta questa metà è nel medesimo caso che se fosse sollecitata da una seguela di quantità decrescenti di fluido australe. Altrettanto in senso opposto avverrà relativamante alla metà inferiore dell' ago. Le differenze *b'* meno *a*, *b''* meno *a'* ec. fra le quantità del fluido che appartengono alle parti parziali *m*, *l* ec. rappresenteranno ciascuna una forza boreale, e tutta questa metà dell' ago sarà reputata essere in istato di magnetismo boreale. Inoltre, i punti ugualmente distanti dalle estremità essendo sollecitati da forze uguali e contrarie, alla metà dell' ago si avrà *b'''* meno *a'''* uguale a zero, d' onde risulta che questo punto sarà neutro.

In vero le forze della calamita P Q, perchè seguono la ragione inversa del quadrato delle distanze, agiranno con una intensità molto maggiore

sulle particelle vicine alle estremità p q, che sopra le particelle che sono ad una certa distanza da dette estremità, talmente che, se l'ago p q è alquanto lungo, l'effetto di queste forze diverrà quasi nullo sulla parte media dell'ago. Così i fluidi conserveranno presso a poco lo stato loro primitivo in questa parte, d'onde risulta che lo stato di lei non differirà molto dal naturale.

Ad agevolare il concepimento dell'analogia tra fluido elettrico e fluido magnetico è utile ricevere il segno + per indizio del fluido australe, ed il segno — per esprimere il fluido boreale.

37. Tagliate una verga magnetizzata verso una delle estremità e staccatene una porzione, grande o piccola a piacere. Subito questa porzione della verga diverrà una calamita completa, corredata dei due suoi centri di azione eccitati da forze uguali e contrarie.

Questo fatto riceve la più chiara e semplice spiegazione dalla ipotesi del Coulomb ripetuta poc'anzi (§. 35). ,, Egli è naturale di pensare, dice il profondo Haüy, che delle molecole integranti dei corpi, sieno magnetici, o sieno elettrici, essendo esse tanti piccioli cristalli completi che hanno delle forme similari e che sono disposti simmetricamente nell'intero corpo, ciascuna debba soffrire la doppia azione della elettricità o del magnetismo per mettere le sue due metà in istati diversi, in modo che la distinzione di questi stati relativamente agl'interi corpi non è che una continuazione di ciò che ha luogo per ciascuna molecola. L'effetto dell'*insieme* si assimila a quello delle parti componenti;

e dopo questa ipotesi plausibilissima nulla vi ha più di estraordinario nei fenomeni prodotti da questi che potrebbonsi chiamare *polipi del regno minerale* ,, (1).

Rovesciamento dei poli

38. Un altra conferma sintetica è la seguente. Ricordate l'esperimento esposto al §. 13. Mettete punta a punta in modo da restare riunite varie verghe magnetiche. Questa successione di verghe vi presenterà una verga continuata, ai due capi della quale saranno i due diversi poli. Dividete con la immaginazione ciascuna delle verghe, conservandole nella situazione successiva in cui sono. Ogni frazione, parte del tutto rappresentante una lunga verga magnetica, potrà essere un corpo magnetico indipendente. Ciò che si è detto di più verghe sia di più pezzetti di filo di acciaio calamitato di uno o due millimetri di diametro. Or separate dalla seguela dei pezzi di tal filo di acciaio un pezzo lungo quanto una suddivisione qualunque di decimetro. Esso vi presenterà i due poli. Le ultime particelle del filo presenteranno la idea degli elementi di un corpo magnetico.

Diminuite le dimensioni del pezzo. Tutte le frazioni conserveranno la bipolarità. Giugnete con la immaginazione a ridur quelle in tante parti indivisibili. La bipolarità sarà anche in queste: ed in vero non vi è ragione per cui la bipolarità debba finir piuttosto in un frammento maggiore, che in un minore.

---

(1) *Haüy* Tr. de Ph. Du Magnétisme.

Dietro l'esposte teoriche conchiuderemo i fluidi boreale ed australe esistere combinati in ogni particella di ferro, ed ogni particella di ferro separarsi, secondo le circostanze, senza che una trasmetta all' altra, sia uno dei fluidi liberi, sia il fluido magnetico naturale.

CAPO VI.

Continuazione sull' eccitamento magnetico

39. Supponete A B (*fig.* 4) essere una vigorosa calamita, agente sopra una verga di ferro *m n* per suscitare in questa lo stato magnetico. L' azione della calamita sul ferro, che dipenderà dalla prevalenza di B; attirerà il fluido australe *a* nelle parti a lei più vicine *n*, e respingerà il fluido boreale *b* nelle parti più lontane *m*. Ora è ad avvertire che due cagioni fanno ostacolo al moto di questo ultimo fluido, una è la difficoltà che le molecole del fluido provano per muoversi nel ferro; di questo è cagione la forza coercitiva: l'altra è la ripulsione che sopra queste medesime molecole esercitano le molecole del fluido già accumulato in *m*; ripulsione che aumenta di continuo a misura che l' accumulamento del fluido respinto si accresce. Può quindi avvenire che sievi un termine in cui la resistenza che nasce dal concorso di queste due cause divenga superiore alla ripulsione della forza B, ed allora il fluido s' ingorgherà in alcun punto, per esempio *d*, cedendo a questa resistenza, e potrà talmente abbondare in questo punto che l' azione

Punti conseguenti

sua produca nella parte vicina e il magnetismo australe.

In questo caso la verga avrà dunque quattro poli successivi i quali avranno alternativamente il magnetismo australe ed il magnetismo boreale. A questi differenti poli che possono succedersi in un corpo magnetizzato si dà il nome di punti conseguenti.

Avviene talora che la verga abbia tre punti conseguenti. Presentate una verga o un ago mobile alla calamita. Potrà darsi che dall' azione del polo di questa che supponiamo vicino al polo simile della verga, e dalla resistenza, tanto della forza coercitiva, che della ripulsione delle molecole accumulate alla estremità opposta della verga, risulti un solo punto conseguente intermedio; questo sarà diverso dei punti estremi. Esempio *a b a*.

Sospendete ad alcuni cordoni di seta un tubo di vetro di alcuni piedi di lunghezza. Toccate quindi per qualche tempo una delle sue estremità con un tubo di ceralacca stropicciata. Esaminando il tubo di vetro osserverete che per una certa lunghezza, a partire dalla estremità toccata, esso ha la stessa elettricità della ceralacca. Succede a questa estensione una seconda estensione, dotata della elettricità contraria, sebbene più debole. Al di là presenterassi di nuovo la elettricità della ceralacca, anche più debole, e così di seguito alternativamente sempre le due elettricità. Questo fatto ha grande analogia con quello dei punti conseguenti dei corpi magnetizzati. La sola differenza a notare tra i due fenomeni è che la elettricità della ceralacca si co-

munica al vetro e vi si estende per certa lunghezza, e che i fluidi australe e boreale del ferro non sono trasmessi.

All' Haüy si è anche presentata l' analogia di tre punti conseguenti tra l' elettricismo ed il magnetismo. Egli osservò un topazio che riscaldato aveva le due estremità allo stato resinoso, mentre la parte intermedia dava segni di elettricismo vitreo.

40. Avviene talora che l' azione della calamita sopra un ago magnetico, o sopra una verga, giunga ad operare il rovesciamento dei poli di questo, ovvero a produrre che il polo australe del medesimo prenda il luogo del polo boreale, ed il polo boreale prenda il luogo del polo australe. Esempio. L' ago mobile *m n* (*fig.* 4) presenti il suo polo boreale *b* al polo boreale della calamita A B. La calamita A B può essere così vigorosa che, la forza coercitiva superando in tutt' i punti dell' ago, incalzi sino in *m* il fluido boreale di questo, attirandone in *n* il fluido australe. In tal caso i poli dell' ago saranno rovesciati. Il fenomeno è facilissimo. Accostate al polo australe dell' ago di una bussola il polo australe di una calamita o di una verga di acciaio calamitato ed appoggiatelo precisamente dove il polo australe della bussola indica il nord. Il rovesciamento sarà completo e, finchè terrete fissa la calamita sul luogo additato, immobilmente si conserverà.

41. Altrove vi ho accennato un modo di magnetizzare: esso è il più semplice. Sarà ora buono abbiate una idea del magnetizzamento col doppio contatto. Questo è più efficace che quello. **Magnetizzamento col doppio contatto**

sono a disporsi con una rapidità alla rapidità del raffreddamento proporzionata. Quindi nel corpo così raffreddato • una specie di cristallizzazione diversa dallo stato che risulterebbe da un raffreddamento gradato. Questa circostanza rende il ferro più duro, e meno flessibile, e ciò tanto maggiormente quanto è maggiormente subitaneo il raffreddamento. Abbiamo detto che la forza coercitiva tanto è più vigorosa quanto il corpo è più duro. Quindi come il ferro così trattato è più duro che prima di divenir tale, perciò esso sarà dotato di maggior forza coercitiva. Il processo qui accennato è il processo della tempera. Sapete intanto che i corpi dotati di molta forza coercitiva, quando hanno manifestato il magnetismo, lo conservano maggiormente dei corpi meno duri. Quindi nel ferro temperato il magnetismo è durevole.

44. Il riscaldamento sino al rosso toglie lo stato magnetico. Una grande temperatura distrugge la forza coercitiva del metallo magnetizzato, e determina la riunione dei due fluidi in esso libero, cioè lo rende allo stato naturale.

L'arroventamento toglie lo stato magnetico

45. La luce solare accresce la virtù attrattiva delle calamite ossidate; diminuisce alquanto la forza di quelle che non lo sono; alle non ossidate polite e lucide è indifferente. Emanando il sole raggi calorifici insieme e luminosi potrebbesi dubitare, se l'azione magnetica sia l'effetto dell'azione riunita delle due specie di raggi, o pure di una di esse independentemente dall'altra (1). Zantedeschi

Effetti della luce relativamente al magnetismo

(1) Morichini ha creduto scoprire la virtù magnetica nel raggio

47. Le calamite d'ordinario non hanno un grandissimo magnetismo. Per accrescere questo, ai lati della calamita si applicano alcuni pezzi di ferro dolce, denominati armature (§. 30), i quali esposti continuamente all' azione dei poli ai quali sono attaccati aumentano col tempo la energia della calamita. La forma che si dà alla calamita è o di parallelepipido o di cubo. La *figura* 6 vi presenta una calamita *a b* con le sue armature *c d e*, *f g h*. Delle armature

CAPO VII.

Declinazione magnetica. Inclinazione magnetica

48. L' ago magnetico, sebbene costante nella sua direzione polare, non segna già una linea che coincida col meridiano astronomico, cioè che passi pei poli del mondo. Esso devia da linea sì fatta. Questo deviamento è la declinazione magnetica. Il meridiano magnetico, altrove accennato (§. 22) s' interseca col meridiano astronomico, e l' angolo formato dai due meridiani, ch' è di circa 15 gradi, angolo di declinazione magnetica è denominato. Declinazione. Inclinazione

Ad un altro deviamento è anche soggetto l' ago magnetico. Immaginatelo, prima di essere magnetizzato, in equilibrio sul suo perno in un piano esattamente parallelo all' orizzonte. Immaginatelo poscia magnetizzato. Nel ricevere il magnetizzamento esso s' inclinerà verso il nord se sarà nel nostro emisfero, verso il sud se si troverà in la

dell' equatore. A quest' altro deviamento si dà nome d' inclinazione magnetica.

La declinazione non è uguale da per tutto

49. La declinazione non è uguale per tutto il globo. Ed in fatti sonovi fasce della superficie della terra dove il fenomeno non si osserva. Questa circostanza però è variabile. A Parigi nel 1666 non si notò declinazione, e nel 1802 era notabilissima.

50. Nell' Oceano Atlantico, fra l' antico e il nuovo mondo, esiste oggi una delle fasce senza declinazione. Le più recenti osservazioni lo assicurano. Ella interseca il meridiano di Parigi verso una latitudine australe di circa 65 gradi, da colà ascende al nord-ovest sino al grado 35 di longitudine dove trovasi alle alture delle coste del Paraguai; dopo di che va lungo il Brasile sino alla latitudine della Caienna. Ma allora, girando al nord-ovest, dirigesi agli Stati Uniti, e da colà verso le altre parti settentrionali del continente di America ch'ella attraversa seguendo sempre la stessa direzione. Questa fascia oggi trovasi considerabilmente innoltrata dall' est all' ovest. Avete veduto che nel 1666 essa includeva Parigi; nel 1657 ella sovrastava anche a Londra.

Evvi un altra banda senza declinazione opposta presso a poco all' accennata. Comincia nel grande Oceano Australe, taglia la punta occidentale della Nuova Olanda, attraversa il mare delle Indie, entra sul continente dell' Asia al capo Comorin, ed attraversando la Persia e la Siberia occidentale elevasi verso la Lapponia. Questa banda si bipartisce presso il grande arcipelago asiatico e dà na-

scita ad un altro ramo che va a sovrastare alla Cina ed alla Siberia orientale.

Vi sono indizii di altre bande senza declinazione.

51. Talora la declinazione è stazionaria. A Parigi dal 1720 al 1724 ella fu costantemente la stessa. Alla Giammaica da circa 150 anni non ha provato cambiamenti sensibili. Lo stesso alla Nuova Olanda. L'Halley grandi declinazioni osservò I, nel mare delle Indie tra' 10 e 15 gradi di latitudine meridionale, e tra gli 82 e gli 87 di longitudine orientale, partendo dalla Isola del Ferro; II, nell'Oceano Etiopico tra i gradi 5 e 25 di latitudine meridionale, e 10 e 20 di longitudine orientale; III, a 50 gradi di latitudine settentrionale, e fra 17 di longitudine orientale e 10 di longitudine occidentale. Le maggiori declinazioni sono state osservate da Cook. Egli nell'emisfero australe a 60 gr., 49 min. di latitudine, e 93, 45 di longitudine occidentale, contando dal meridiano di Parigi, ne notò una di 43, 45. Una di 36, 19 l'ha osservata nel nord a 70, 19 di latitudine e 161 di longitudine orientale. Declinazione stazionaria

52. Oltre le variazioni di declinazione magnetica che lentamente procedono ve ne sono alcune diurne. La legge di queste variazioni è la seguente: l'ago avanzasi verso l'ovest il mattino sino a mezzodì, o poco dopo. A mezzodì è stazionario per qualche momento. La sera ritorna verso l'est. Ve ne sono delle mensuali. Da gennaio a marzo l'ago allontanasi dal nord; da marzo a maggio vi si accosta; è stazionario a giugno; si allontana dal Declinazioni diurne e mensuali

nord a luglio; vi si accosta di nuovo in agosto settembre ottobre; a novembre e a decembre se ne allontana.

In alcuni luoghi la declinazione diurna non è sensibile: a Pietroburgo ha poco effetto.

Risultamento generale

53. Il risultamento generale di tutte le declinazioni è un movimento verso l' ovest.

Acceleramenti improvvisi ed irregolari dell' ago

54. Talora le declinazioni dell' ago calamitato subiscono delle variazioni improvvise e fuggitive, ovvero degli acceleramenti improvvisi ed irregolari. Queste anomalie, le quali esprimono una causa incognita perturbatrice, dicono i francesi *affollemens*.

La inclinazione è variabile

55. La inclinazione ha le sue variazioni. A Parigi nel 1666 era di 70 gradi, nel 1787 era di 71. A Londra nel 1775 era di 72 30, e nel 1805 era 70 21. Questa variazione vedete avvenire lenta, e meno notabilmente della declinazione. Verità in Francia confermata per le cure dell' Humboldt (1).

Non è sensibile da per tutto. Equatore magnetico

56. Il fenomeno della inclinazione non è sensibile per ogni dove. Tutt' i punti dove l' ago magnetico, considerato senza inclinazione alcuna, è perfettamente parallelo all' orizzonte, compongono una curva che fa angoli di circa 15 gradi con l' equatore: a questa si dà il nome di equatore magnetico. Conchiudendo diremo che sotto l' equatore la inclinazione si tiene per nulla. L' equatore magnetico si dovrà considerare ugualmente distante dai

---

(1) A correggere l' effetto della variazione della inclinazione si rendono disuguali i pesi delle due metà dell' ago calamitato in modo che la forza attraente una delle metà sia compensata da eccesso di peso nell' altra.

poli magnetici (§. 47), come l' equatore astronomico è ugualmente distante dai poli astronomici.

Dove la inclinazione si rende sensibile

57. A misura che l' ago si allontana dall'equatore magnetico, tenendo la direzione a un polo o all' altro, la inclinazione si rende sensibile ed aumenta. Le inclinazioni più grandi che si conoscano sono quelle osservate dal Phipss tra i gradi 80 ed 81 di latitudine boreale tra' 70 ed 80 di latitudine meridionale.

58. Ma di altre variazioni magnetiche è anche a tener conto.

Cagioni straordinarie di anomalie magnetiche

L' avvicinamento alle miniere di ferro, la tempesta, l' eruzioni vulcaniche, i tremoti, le aurore boreali sono causa all' ago magnetico di quelli acceleramenti improvvisi ed irregolari che abbiamo accennati (§. 54).

CAPO VIII.

Delle forze magnetiche del globo, e dei centri loro

Le forze magnetiche più intense andando dall' equatore verso i poli

59. Ma non si resta quì la influenza del globo verso l' ago magnetico. È d' uopo avere una idea delle variazioni che offre la intensità delle forze magnetiche. L' Humboldt ha verificato che l' accrescimento generale della intensità avviene andando dall' equatore verso i poli. In fatti la bussola stessa che, nel partire di quel filosofo da Parigi, dava 245 oscillazioni in dieci minuti, al Perù non ne dava più di 211. Questo instrumento ha costantemente variato nel medesimo senso, cioè il numero

delle oscillazioni ha sempre diminuito nell'accostarsi all' equatore magnetico, ha sempre aumentato nell' allontanarsi da quello, tenendo la direzione del nord (1).

Opinione del Biot su i centri di azione magnetica

60. La serie dell' esposte circostanze determina la vostra mente a considerare il globo come un grande agente magnetico. È perciò che si paragona ad una gran calamita. Ma le cognizioni nostre sul magnetismo di lui sono molto imperfette. La maggior curiosità che nasce è quella di sapere la distribuzione dei centri di azione in questa gran calamita. Il Biot, combinando le osservazioni fatte dall' Humboldt sulla inclinazione dell' ago magnetico in diversi punti del globo, con l'aiuto del calcolo conchiude tai centri essere ad una picciolissima distanza dal centro dell' asse dell' equatore magnetico, e quasi nella stessa molecola. Il Mayer, astronomo di Gottinga, da' suoi calcoli aveva dedotto la stessa conseguenza.

Obiezioni e risposta

61. Si opponeva però che una calamita, o un centro magnetico, situata al centro della terra soddisfar non potesse ai fenomeni. A ciò rispondeva il Biot supponendo nella massa del globo dei centri magnetici secondarii. ,, Ripartendo così alcuni centri secondarii nei punti del globo ove le irregolarità delle declinazioni sembrano le più bizzarre,

---

(1) Queste differenze non dipendevano da diminuzione di forza magnetica della bussola, nè da indebolimento cagionato dall' effetto del tempo e del calore: poichè, dopo tre anni di soggiorno dell'Humboldt nel paese più caldo della terra, bussola siffatta ha dato di nuovo nel Messico oscillazioni rapide quanto quelle che dava a Parigi.

egli è verisimile che si finirebbe con rappresentarle tutte esattamente del pari che le inclinazioni e le intensità. Così, nel sistema del mondo, il moto principale prodotto dall' azione del sole è modificato dalle perturbazioni che producono le picciole masse dei pianeti ,, (1). D' altronde soggiugne il filosofo, aver bisogno che osservazioni precise determinino la disposizione dei diversi centri secondarii, prima di volgersi a calcolarne gli effetti. Sarà grato al leggitore il seguente luogo dello stesso Biot.

,, L' azione magnetica centrale del globo è ella prodotta da un nucleo magnetico chiuso nell'interno di quello, o è il risultato complessivo di tutte le particelle magnetiche in esso disseminate? È ignoto. Nulla di meno l' ultima supposizione sembra la più verisimile. I centri secondarii sarebbero allora determinati da alcune attrazioni locali divenute preponderanti. E in effetto le osservazioni indicano, in modo da non dubitarne, il sistema generale delle inclinazioni, delle declinazioni, e delle intensità magnetiche essere sensibilissimamente modificato; e talora in un modo assolutamente improvviso ed irregolare, dalla vicinanza delle grandi catene di montagne. Ciò sembra del pari confermato dalla singolare inflessione dell' equatore magnetico verso i numerosi arcipelaghi del mare del sud. Si sa in fatti che le isole di cui è sparso quel mare sieno le sommità di altissime montagne che si elevano perpendicolari dal seno di un oceano di cui non si trova il fondo. Se le madrepore di cui elle sembrano com-

(1) *Biot*, Traité de Physique liv. IV Chap. X.

poste formassero solo uno strato poco profondo, e se, come naturalisti molto esperti hanno giudicato, il resto della loro massa fosse stato prodotto o lavorato dall' azione dei fuochi sotterranei, il sistema di queste isole formerebbe la più estesa catena vulcanica che fosse sulla superficie del globo. Allora tutte le irregolarità prodotte da questo sistema nelle leggi generali del magnetismo terrestre nulla avrebbero che non fosse semplice e conforme a quanto si osserva nei paesi vulcanizzati. Imperciocchè l'azione dei fuochi sotterranei ha dovuto necessariamente cambiare lo stato chimico e la disposizione naturale delle parti ferruginose nei luoghi dove ella si è esercitata, cambiamenti che non hanno potuto avvenire senza turbare la direzione dell' ago magnetico, e modificare in questi punti l' azione generale del globo. Vi sono anzi molti esempii di tali improvvise variazioni, e l'Humboldt ne ha osservato al Perù dopo un grande tremoto. Sarebbe dunque possibile che il centro magnetico particolare del mare del sud fosse dovuto a cause di tal natura. Senza dubbio ne esistono delle analoghe in altri paesi; ed allora non sarebbero le loro variazioni che da duecento anni prodotto avrebbero i cambiamenti di declinazione della bussola, cambiamenti sì bizzarri ed irregolari che finora è stato impossibile di trovarvi alcuna legge, ma che per questa irregolarità stessa sembrano annunziare ch' essi l' effetto non sono di una causa uniforme e costante? Con questo dato nulla per l' Europa renderebbe necessario il rit orno della bussola verso l' est. E a dir vero, dopo ch'ella ha cessato di declinare all' ovest, non si è osser-

vato retrogradasse di una quantità sensibile: in modo che, dopo le sole osservazioni fatte finora, egli è impossibile decidere se ella ritornerà indietro (1). „

62. L'azione delle forze magnetiche del globo non è limitata alla sua superficie. Essa si propaga per lo spazio che circonda il globo. In un viaggio areostatico il Biot e 'l Gay-Lussac si sono assicurati che le oscillazioni dell'ago magnetico, ad una grande altezza nell'atmosfera, non differivano sensibilmente da quelle che avevano osservate alla superficie terrestre.

L'azione delle forze magnetiche non è limitata alla superficie della terra

Il Gay-Lussac ha confermato la esattezza di questa osservazione in un'altro suo viaggio areostatico nel quale è pervenuto al punto dell'atmosfera il più elevato ove sia mai giunto l'uomo, 7016 metri (2).

Qui è ad aggiugnere che l'ago magnetico, elevato a grandi altezze sulla superficie terrestre, abbassato in profonde cavità, agisce generalmente in un modo uniforme.

CAPO IX.

La bussola

63. La bussola nautica, che vi ho sovente accennata, è un ago magnetico (§. 20) equilibrato sopra un perno sottile di metallo non magnetico, il quale è coperto di un cappelletto di metallo, ma

(1) *Biot*, ivi.
(2) V. *lib. IV*, §. 83.

meglio di vetro o di agata. Un picciolo contrappeso, situato sopra le braccia di lei, la rende orizzontale. Se le danno varie forme, come la cilindrica, quella di parallelepipido, quella di rombo, quella di freccia. Taluna si fa finire come a martello, metodo condannato. La forma più lodata è quella di freccia. Si commenda pure la poca grossezza dell' ago, la quale sarà quella sola bastante perchè l' ago non s' incurvi per la pressione. La estremità della freccia indica sempre la regione polare dell' emisfero nel quale vi ritrovate. Ella comprenderete essere eccitata dal magnetismo contrario di quello del polo dov' è rivolta (§. 11). Siete nell' emisfero boreale, la punta della freccia che addita il polo boreale è il di lei polo anstrale. Il contrario relativamente al polo australe. Certo è intanto il navigatore che tale estremità gli additi il polo dell' emisfero nel quale ei si ritrova.

L' ago così disposto si chiude in una cassettina coperta di vetro. A garantirlo contro la influenza della elettricità atmosferica è buono la cassettina sia internamente intonacata di sostanze resinose: così sarà isolato. L' interno della cassettina presenta d' ordinario la rosa dei venti (*lib. IV*, §. 51). L' ago sul suo perno è nel centro.

64. Sembra la introduzione della bussola non vada molto in là del principio del duodecimo secolo. Un luogo delle poesie de' francesi Ugo di Berly e Giovanni di Mehun (an. 1180) citato dal Pasquier (1), fa menzione di questo istrumento col

(1) *Recherches sur la France.*

nome di *marinette*. Noi onoriamo Flavio Gioia di Amalfi come inventor della bussola. Flavio Gioia visse nel secolo XIV.

Secondo il Thenevot la declinazione dell' ago magnetico fu per la prima volta osservata nel 1260. La sua inclinazione riferisce il Gilberto essersi scoperta verso il 1576. La direzione polare dell' ago magnetico, molto prima che al resto degli uomini, fu nota ai cinesi. Non sembra così dell' uso della bussola.

Nella bussola i naviganti hanno il mezzo da riconoscere la direzione del loro cammino a traverso la immensità dei mari, e nella oscurità della tempesta. Prima della invenzione della bussola gli uomini non potevano allontanarsi dalle coste.

CAPO X.

Dell' ampliamento de' rapporti magnetici

Magnetico tutto il ferro poco caricato di ossigeno

65. Si era creduto la calamita essere una miniera di ferro particolare dotata dei poli magnetici, e quindi della facoltà di comunicare il magnetismo all' altro ferro. Quindi le distinzioni di *ferrum attractorium*, la calamita, e di *ferrum retractorium*, il ferro suscettivo della comunicazione magnetica, di *ferrum refractarium*, ferro che non è sensibile all' azione della calamita, ch' è il ferro molto caricato di ossigeno. D' altronde oggi è conosciuto le propietà magnetiche essere comuni a tutto il ferro poco caricato di ossigeno.

La calamita prima nella scala dei corpi magnetici

66. Tutt' i pezzi di ferro tenuti nella terra, o almeno la maggior parte di loro, sono tante calamite naturali, che variano solo nel grado di forza. La miniera di ferro detta calamita dee considerarsi della stessa natura, e non è altro che il termine il più distinto di una serie di gradazioni naturali.

Metodo del doppio magnetismo

67. Quando la presenza del ferro non è visibile, o è mascherata dalla ossidazione, o è poca, a scoprirla, s' impiega un picciolo ago magnetico ridotto dall' Haüy in forma di rombo sospeso sopra un perno di punta sottilissima e si adopera il metodo del doppio magnetismo introdotto dallo stesso filosofo, metodo che quì riportiamo.

Sia *m r* (*fig.* 7) l' ago equilibrato sopra un perno, nel quale caso esso girerà il suo polo australe *a* verso il nord N ed il suo polo boreale *b* verso il sud S. Ad una certa distanza dall' ago, e nel medesimo livello, da l' un lato o dall' altro, e p. e. verso il sud, vi sia una verga magnetica M R, che abbia la direzione dell' ago, ed i cui poli A B sienò rovesciati relativamente all' ago, cioè che i poli *b* B si trovino i più vicini. Si accosti piano piano la verga verso l' ago. Ad un certo termine l' ago si allontanerà dalla sua direzion naturale, e comincerà a girare intorno al suo centro. Senza la forza della terra sopra quest' ago, e per la quale l' ago tende alla prima situazione, esso descriverebbe la metà di un circolo intorno a se stesso. L' ago però non allontanerassi dalla prima sua direzione se non fino al termine in cui la forza agente per ricondurlo si troverà in equilibrio con la forza che

la verga esercita sopra di lui onde farlo muovere in senso contrario. Supponiamo questo equilibrio avvenga nel momento in cui il polo *a* dell' ago descrive l' arco *a e* in modo che questo ago abbia presa la direzione *e h* (1) ed analizziamo le azioni delle forze che determinano l' equilibrio di cui si tratta. Il polo boreale N del globo, polo che bisogna immaginare molto lontano, attrae il polo australe *a'* dell' ago e respinge il suo polo boreale *b'*; e, siccome queste due forze concorrono insieme per obbligare l' ago a retrocedere nell' arco *e a*, noi, per semplificare, possiamo con la mente ridurle ad una sola forza agente per attrazione sopra il polo *a'*, aumentando a proporzione quella che da principio stimavasi agire solo con il suo propio fluido per attirare il polo medesimo. D' altra parte il polo australe S del globo esercita azioni analoghe sopra i poli dell' ago, attirando il polo boreale *b*, e respingendo in senso contrario il polo australe *a*. Egli è evidente queste due forze cospirar come le prime per obbligare l' ago a retrocedere nell' arco *e a* in guisa che se, per semplificare sempre più, noi con la immaginazione le aggiugniamo alla forza che noi supponiamo ora applicata al polo *a'* dell' ago, le cose avverranno come se il polo fosse sollecitato da

(1) L' osservatore deve essere situato in O. Egli farà muovere la verga parallelamente a se stesso per la estensione di cinque o sei millimetri. Quindi l' accompagnerà lentamente verso l' ago, e nella direzione dell' ago, fino a che questo comincerà a muoversi notabilmente nel senso dell' arco *a e*. Fatto ciò rimetterà la verga nella prima situazione, e continuerà ad accostarla all' ago.

una sola forza attrattiva equivalente di tutte le forze reali col cui aiuto il globo agisce sull' ago.

Relativamente alle azioni della verga sull' ago comprendete che l' attrazione del polo B sul polo *a'* di questo ago, e la sua ripulsione sul polo *b'* si accordano a produr nel polo *a'* una tendenza a descrivere l' arco *e i*. D' altra parte la ripulsione del polo A della verga sul polo *a'* dell' ago e la sua attrazione dal polo *b'* nascer fanno nel polo *a'* una tendenza a muoversi in senso contrario nell' arco *e a*. Ma le seconde forze, 'a cagione di una maggiore obbliquità e di una maggior distanza, agiscono più debolmente che le prime, in modo tale che queste prevalgono.

Attualmente potremo servirci del modo stesso di semplificamento impiegato per le azioni del globo sull' ago, tutte le forze con l' aiuto delle quali la verga agisce sopra di lui riducendo ad una sola forza la quale supporremo applicata al polo *a'*. Per operare questa riduzione sarà d' uopo aumentare l'azione che il polo B esercita direttamente sul polo *a'* in proporzione di ciò ch' ella guadagna ad essere secondata dall' azione del medesimo polo sul polo *b'*, e diminuirla in proporzione di quello che le fanno perdere le azioni contrarie del polo A della verga sopra i due poli dell' ago.

Dietro l' esposto l' ago non si considera sollecitato che da due forze applicate al polo *a'*, le azioni delle quali, uguali e contrarie, l'una per far muovere la estremità di questo ago nel senso dell' arco *e a*, l' altra per fargli descrivere l' arco *e i* distruggonsi scambievolmente, così che l' ago rimanga in

equilibrio. Se si continua ad obbligare la verga a piccioli moti verso l'ago, in modo che il polo B passi successivamente pei punti D, F, G, ella allontanerassi sempre più dalla sua direzion primitiva; contemporaneamente l'azione del globo sul polo *a'* per ricondurre l'ago a questa direzione si accrescerà, perchè essa eserciterassi sempre meno obbliquamente a misura che l'ago si accosterà di vantaggio alla direzione *l x*, perpendicolare alla direzion primitiva N Z, la più favorevole all'azione della terra, mentre allora l'ago trovasi interamente girato verso il polo nord della medesima, dove risiede la forza che agisce per farlo ritornare alla sua prima situazione.

Ogni volta che si fa fermare la verga, l'ago si rimane stazionario, perchè quanto la forza della verga si trova aumentata dalla diminuzion di distanza, tanto la forza del globo che sollecita in senso contrario si è accresciuta a cagione ch'ella agiva meno obbliquamente.

Ma, da che l'ago è giunto alla direzione *l x*, se la verga è mossa nuovamente verso di lui, l'attrazione di questa sul polo *a'* si aumenterà pure, e l'ago, obbligato a torre la situazione *s t*, inclinata in senso contrario della sua prima direzione N Z, la forza del globo diminuerassi, ricominciando ad agire obbliquamente: in modo che, non potendosi più ristabilir l'equilibrio, l'ago continuerà a girare, mentre la verga resterà immobile. Cioè fino a che l'ago si ritrovi sulla sua prima direzione N Z, con la differenza che la sua situazione sarà rovesciata relativamente a quella ch'ella aveva natu-

ralmente prima della esperienza; cioè che l' estremità o polo *a* occuperà il sito che prima della esperienza occupava l'estremità o polo *b*, e per conseguente il polo *b* quello del polo *a*.

68. Il miglior momento per presentare un corpo che contenga picciola quantità di ferro ad uno dei poli dell' ago, continua l' Haüy, sembra essere quello in cui la situazione dell' ago coincide con la linea *l x*; perchè nel caso la forza del globo terrestre sull' ago tendesse a diminuire, per poco che l' ago continuasse il moto suo di rotazione, basterebbe una picciolissima forza a disordinar questo moto. Ma perchè riuscirebbe difficile arrestare la verga precisamente al termine in cui la più lieve impressione che se le desse in seguito verso l' ago determinasse il ritorno dell' ago alla sua prima direzione, basterà la situazione dell' ago sia vicinissima a questo termine restando un poco in quà. Situerassi allora il corpo destinato per la esperienza di rimpetto al polo *l* dalla parte della verga. In questo modo l' attrazione del corpo sul polo al quale si presenta concorre con la tendenza di questo corpo per avanzarsi verso la verga, continuando il moto suo di rotazione. Talora all' Haüy è avvenuto di colpire la situazione della verga alla quale corrisponde perfettamente la direzione dell' ago sulla linea *l x*, ed all' avvicinamento di un corpo che acchiudeva una picciola quantità di ferro l' ago partiva e compiva da se il mezzo giro.

69. Con il metodo del doppio magnetismo si scopre il ferro comunque mascherato, comunque caricato di ossigeno. Il gran mineralogo, tra le so-

stanze da lui saggiate, cita l'etite, ovver pietra d'aquila, le terre argillose brune o giallastre, l'ottone, lega di zinco e di rame, tra' cui componenti spesso non il rame puro, ma si fa entrare il rame piritico, che contiene il ferro.

CAPO XI.

Continuazione

Propietà magnetiche nel nichel e nel cobalto

70. Le propietà magnetiche, oltre al ferro appartengono sensibilmente al nichel ed al cobalto. Erasi prima sospettato le virtù magnetiche di questi metalli dipender potessero dalla presenza di molecole di ferro delle quali la chimica riuscita non fosse a spogliarli. Il dubbio sembra non aver luogo. Il nichel ed il cobalto, purificatissimi per le cure del Langier e del Silveira, furono magnetici. Nè crediate impossibile altre sostanze abbiano come il ferro la facoltà di ritenere nei loro pori il fluido magnetico. La natura in generale non è esclusiva nel modo suo di operare.

Ed in altre sostanze

71. Per le ingegnose e profonde osservazioni del Coulomb è noto che aghetti di oro di argento e di altri metalli, di vetro, di creta, di osso, di legno, lunghi sette od otto millimetri e larghi mezzo millimetro, sospesi a fili di bozzolo di seta, ed esposti fra i poli opposti di due calamite, veggonsi prendere la direzione di questi poli; che, se gli aghetti si faranno oscillare nella direzione nella quale sono equilibrati, le loro oscillazioni in presenza delle calamite saranno più rapide che quando non saranno

con quelle in rapporto. Il Biot è stato uno dei testimonii di tali osservazioni dovute al Coulomb.

L' analogia tra il portamento di questi aghi e 'l portamento dell' ago magnetico è incontrastabile.

Due opinioni

72. Or come spiegare il fenomeno?

Il fluido magnetico sarebbe egli inerente a tutta la materia conosciuta? In questo caso tutti gli elementi che fanno parte del globo conterrebbero fluido magnetico, sebbene in molti questa dote fosse tanto debole che i fenomeni corrispondenti non sarebbero sensibili. O il fluido magnetico apparterrebbe ad una sola specie di materia? In tal caso l' azione magnetica dipenderebbe esclusivamente dalla presenza delle molecole di ferro sparse indistintamente nelle diverse sostanze naturali in modo da non poter essere separate da queste. Scegliete la prima opinione.

CAPO XII.

Aurora boreale

73. L' aurora boreale è un fenomeno luminoso notabilissimo. Si presenta al nord tendendo alquanto verso l' ovest: quindi aurora boreale perchè verso il nostro polo. D' altronde sonovi aurore australi, o fenomeni simili dalla parte del polo australe. Cook ne ha vedute.

74. Comincia d' ordinario tre o quattr'ore dopo il tramonto del sole con una specie di nebbia semicircolare che finisce sull' orizzonte, e la cui circonferenza è illuminata da luce biancastra d' onde risultano uno o più archi luminosi concentrici. Getti

di luce variamente colorata partono dalla parte nebulosa e con l'incremento del fenomeno si rendono molto numerosi e frequenti. Sembra questi concorrano in un medesimo punto del cielo. Giunta la meteora al suo massimo è oltremodo estesa, e verso le parti superiori come fuoco, sebbene i getti fiammeggianti veggansi sovente cambiare e di colori e di forme. Spettacolo sorprendente. Esso è tanto più bello quanto è più intenso.

75. Si è in varii modi tentato di dare spiegazione all' aurora boreale. Franklin sospettò potersi ripetere da accumulamento di elettricità verso i poli. Certo è avere ella rapporto col magnetismo della terra poichè, quando avviene, l' ago magnetico soffre i già notati acceleramenti improvvisi ed irregolari (§. 58). Quì è a notare Dalton aver osservato che la sommità dell' arco dell' aurora boreale, veduta da qualunque luogo, è diretta nel meridiano magnetico di quel luogo stesso: fatto verificato dall'Arago nel 1817. L'Arago medesimo in marzo 1826, notato un acceleramento improvviso dell' ago magnetico, credette poterlo attribuire ad una aurora boreale. In fatti questa si fè vedere in Inghilterra il dì 29 marzo dalle 8 alle 10 della sera. Il Dalton e l'Arago c' informano che il punto del cielo dove concorrono i getti luminosi della meteora è precisamente quello verso il quale dirigesi un ago magnetico sospeso pel suo centro di gravità, e che ciascuno dei cerchi concentrici che appariscono sul principio del fenomeno si appoggia sopra due parti dell'orizzonte ugualmente lontane dal meridiano magnetico,

in modo che quest' ultimo accoglie in se le sommità di tutti quegli archi (1).

76. Dalla ultima delle esposte osservazioni deduce l' Arago l' aurora boreale come l' arco baleno (2) essere un fenomeno di situazione, cioè che si possano vedere più aurore boreali; perchè il meridiano è diverso pe' diversi punti della superficie terrestre.

CAPO XIII.

Fatti elettro-magnetici

Preliminare 77. Ma una nuova scoperta viene ad occuparci.

Nella pila galvanica isolata ogni polo ha una elettricità diversa. L' azione della pila sul fluido naturale dei suoi dischi metallici separa li due fluidi, positivo o vitreo, e negativo o resinoso, di cui questo fluido naturale è composto, e li respinge in senso contrario verso le estremità dell'apparecchio. Quindi risultano due stati diversi del fluido sviluppato in tal modo, quello d' isolamento, quello di elettricità condotta. Il primo è uno stato di tensione elettrica. Ciascuna delle due elettricità si accumola nella parte della pila verso la quale è spinta, sino a che la tendenza loro a riunirsi equilibri l' azione contraria che la pila esercita per separarli. D' altronde, se con un filo metallico si uniscono le estremità della pila, fi-

(1) V. Nota alla p. 105.

(2) Dell' arco baleno si tratta nel *cap. VII* del *lib. VII.*

nisce la tensione, ed i due fluidi sviluppati dall' azione continua della pila si spandono in senso opposto nel filo conduttore, dove con la riunione loro si stabilisce il secondo stato dell' elettricismo, denominato corrente elettrica. Questo stato presenta un novello ordine di fenomeni, che dobbiamo all' Oersted, danese.

Della corrente elettrica

78. Della pila voltiana *b a* (*fig.* 8) la estremità positiva *a* sia in comunicazione colla estremità negativa *b* per mezzo del filo *x*. Considererete che l' elettricità positiva è tolta alla parte del filo e della pila che è vicina a *b*, e dall' azione dell' apparecchio portata verso la estremità *a* per ritornare di nuovo per la strada *a x b*, e così formare una corrente che sussiste finchè la pila conserva la elettricità sua. Lo stesso effetto in senso contrario si produce sulla elettricità negativa. Il trasporto di lei da *a* in *b* e 'l suo ritorno da *b* in *a* per il filo *b x a* fa nascere una corrente elettrica negativa la cui direzione è contraria a quella della prima corrente. Queste due correnti sono sempre in attività quando le due estremità della pila si mettono in comunicazione. Quindi basterà indicare la direzione del trasporto di una delle due elettricità per indicare il senso del trasporto dell' altra.

Scoperta dell' Oersted

79. L' Oersted ha osservato che, quando si accosta l' ago magnetico ad una porzione qualunque di un circuito galvanico, l' ago devia dalla sua prima direzione e tende a muoversi in modo che il suo asse sia perpendicolare a questa porzione di circuito. Inoltre se uno situasi con la immaginazione nella corrente in modo che la direzione da' piedi alla te-

sta sia quella della corrente rapporto all' ago, e che sia egli con la faccia volta verso l' ago, sempre il polo australe dall' azion galvanica è portato alla sinistra dell' osservatore.

Esempio. Sia una pila situata presso a poco nel senso del meridiano magnetico, ed in una direzione parallela a questo meridiano sia disposta una porzione più o meno grande del filo di comunicazione o filo congiuntivo. Suppongasi che il polo positivo della pila guardi il nord. Avremo la corrente galvanica diretta dal sud al nord nella pila, e dal nord al sud nella parte rettilinea del conduttore. Situinsi poscia due aghi calamitati mobili sopra due perni, uno sulla pila, uno sopra o sotto il conduttore: il polo australe del primo ago si porterà in est, e quello del secondo si rivolgerà dal lato opposto quando si situerà sopra il conduttore, e dal medesimo lato quando si situerà sotto.

In questo sperimento l' azione della corrente galvanica si combina sempre con quella ch' esercita il globo terrestre sull' ago calamitato. Ed in vero questo non perviene alla situazione perpendicolare, e fermasi obbliquamente facendo un angolo più o meno aperto col meridiano magnetico. D' altronde la influenza del globo può rendersi nulla fissando l' ago ad un asse cui si dia la direzione della inclinazione magnetica, e così ha fatto l' Ampère. In tal caso l' ago fa sempre un angolo retto col filo conduttore, agendo questo solo per dirigerlo.

80. Un conduttore galvanico fisso, ed un ago calamitato sospeso liberamente ad un filo, attiransi quando la situazione dell' ago è quella che questo

tendeva a prendere nella esperienza precedente in virtù dell'azione direttrice del conduttore, e si respingono quando l'ago è nella posizione contraria. Nel caso in cui avviene l'attrazione, se il conduttore e l'ago vanno a toccarsi, essi rimangono attaccati l'uno all'altro, come avverrebbe di due corpi magnetizzati.

Osservazioni dell' Ampère sulle attrazioni e ripulsioni galvaniche

81. Le azioni esposte sono reciproche. Quindi avverrebbe del pari se ad un ago fisso si presentasse un conduttor mobile; e, siccome il globo fa da calamita, si conchiude ch'esso dirigerebbe costantemente nello stesso senso quel conduttore cui si desse una disposizione analoga a quella degli aghi delle bussole. Così, quando si forma con un filo metallico un cerchio quasi chiuso dove si lascia solo la interruzion sufficiente per fare comunicare le due estremità del filo con i poli della pila le quali si fanno passare per un pezzo di avorio o di legno invernicato a fine di renderle isolate (*fig.* 9) e mobile si rende l'apparecchio intorno ad un asse compreso nel piano di un cerchio, l'azione del globo porta seco questo piano in una situazione perpendicolare ad un ago magnetizzato che, obbligato a girare intorno ad un asse, ubbidisse dal lato suo alla stessa azione.

82. Inoltre l'Ampère ha osservato tra' due fili metallici ch'erano parte di uno stesso circuito avvenire un'azion reciproca analoga affatto a quella di un filo congiuntivo sopra una calamita o reciproca fra due calamite. Per renderla sensibile egli dispone parallelamente due porzioni rettilinee del conduttore in modo che l'una sia fissa e l'altra abbia una

sospensione mobile che le permetta di accostarsi o di allontanarsi dalla prima, restandole sempre parallela. Allora, se una corrente elettrica si fa passare nello stesso tempo ne' due fili, si osserva ch'essi attiransi reciprocamente quando le loro correnti rispettive avvengono nello stesso senso, e che si respingano quando le correnti avvengono in direzioni opposte. Nel caso dell' attrazione, se giungono al contatto, essi rimangono attaccati l' uno all' altro come due calamite. Questi effetti avvengono indistintamente nel vôto e nell' aria.

Osservazioni del Davy

83. In un recipiente dove l' aria sia rarefatta messe due punte di carbone per mezzo di due fili metallici comunicanti con la pila, se questa ha sufficiente energia, fra le due punte si ottiene una corrente continua di elettricità che sviluppa insieme un calore ed una luce molto intensi. Il Davy ha situate le estremità dei carboni una sopra dell' altra in modo da dare alla corrente elettrica una direzion verticale. Quindi, accostando una calamita il cui asse era orizzontale, ha veduto la fiamma essere attirata e curvarsi in arco verso la calamita, quando le correnti di questa presso la fiamma avevano la stessa direzione della corrente che la produceva.

Osservazioni dell' Arago intorno al magnetizzamento del ferro per mezzo della elettricità galvanica

84. Nota l' Arago il filo congiuntivo caricarsi di limatura di ferro come avverrebbe di una calamita. Ciò effetto esser non può di azione elettrica ordinaria. In fatti la limatura di rame e la raschiatura di legno, esposte nelle medesime circostanze della limatura di ferro, non sono attratte dal filo. Nota pure che in tal modo più del ferro dolce è magnetizzato l' acciaio, nel quale l' effetto è più durativo.

In conseguenza di tali osservazioni egli col filo congiuntivo formò una elica, o spirale cilindrica, al centro di cui situò un ago di acciaio involto nella carta. Dopo alquanti minuti l'ago acquistato avea un grado considerabile di magnetismo. Nel replicare lo sperimento l'Arago si avvide che ottenevasi una costante situazione di poli in rapporto con la direzione della corrente nella elica (1).

85. In un' altra sperienza servissi l'Arago di due eliche simmettriche separate da una punta rettilinea. Una era diretta in un senso, l'altra era diretta nel senso contrario. Due aghi simili in tutto furono situati nelle due eliche. Il cambiamento della direzione secondo la quale circolava la corrente in queste due parti del filo bastò per produrre negli aghi un cambiamento di poli. Nell' introdurre un solo e medesimo filo di acciaio in molte eliche girate in sensi alternativamente contrarii egli ottenne una serie di poli intermediarii analoghi a quelli che noi designati abbiamo col nome di punti conseguenti.

86. Dopo tali osservazioni ha veduto l'Arago che la elettricità ordinaria tutti i fenomeni produce di magnetizzamento che gli forniva l'apparecchio voltiano. Una verga di acciaio situata in un tubo di vetro intorno del quale era avvolto in elica un filo di ottone, col mezzo delle scintille elettriche fatte passare per il filo, è stata da lui magnetizzata fortemente.

---

(1) Michelotti ha costruito un apparecchio elettrico composto di lamine di zinco ed argento rivolte a modo di spira.

Il de Nobili, col mezzo delle correnti elettriche scaricate sopra spire di filo metallico molto strette, ha ottenuto una luce diversa dalla luce elettrica ordinaria, ed imitante l'aurora boreale.

Prima di conoscersi queste sperienze, con la scarica della bottiglia di Leyda sopra uno spilletto di acciaio, si riduceva la spilla in istato magnetico.

L' azion reciproca di due porzioni di correnti galvaniche in ragione inversa del quadrato delle distanze

87. Il Biot il Savart e l' Ampère, con esperimenti molto precisi, dimostrato hanno l'azion reciproca di due picciole porzioni di correnti galvaniche essere in ragione inversa del quadrato delle distanze. Per mettere l' ago fuori della influenza magnetica del globo il Biot situa a gran distanza una calamita in modo che la costei azione equilibri quella del globo. Con tal mezzo l' ago resta indifferente o quasi indifferente in tutte le situazioni che a lui si danno. Poscia, sottoposto l'ago all'azione di un conduttore, si contano le oscillazioni ch' esso fa in un dato tempo in una determinata situazione del filo, ed il quadrato di questo numero è proporzionale alla forza che fa allora oscillare l' ago.

Galvanometro

88. L' Ampère propone il galvanometro. Sarebbe questo un ago magnetizzato situato sulla pila, disposta nel senso del meridiano magnetico. Dietro le cose esposte (§. 67) uopo è credere la forza direttrice del globo e la forza risultante dall' azione della corrente elettrica comporsi in modo che nella situazione in cui la prima si fissa sotto la influenza del filo conduttore sievi equilibrio fra l' azione del globo per ricondurre l' ago al meridiano magnetico, e quella che questo filo esercita per allontanarlo. Or a misura che la pila s' indebolisce la deviazione diminuisce. Dunque l' ago disposto nel modo accennato sarebbe un mezzo di conoscere continuamente la forza delle correnti nella pila. Ecco il galvanometro. Qui avvertasi che, quando il circuito galvanico è chiuso,

gli elettroscopii ordinarii dar non possono indicazione alcuna, e che allora si presentano fenomeni importanti.

Telegrafo elettro-magnetico

89. In certe circostanze l'azion della pila sull'ago magnetico potrebbe servire a trasmettere delle indicazioni a distanze sensibilissime. Bisognerebbe impiegare all'uopo un filo conduttore ben grosso perchè la corrente elettrica nei fili sottili s'indebolisce quando la lunghezza del circuito è molta. Lo Svemmering immaginò un telegrafo elettro-magnetico. Egli però, invece d'impiegare l'azione di un fascio di fili sopra tanti aghi magnetici corrispondenti alle lettere dell'alfabeto, proponeva di osservare la decomposizione dell'acqua in tanti vasi separati.

Forza direttrice col mezzo di due dischi

90. Lo Schweiger ha osservato che con una coppia di dischi galvanici muniti di fili metallici si può ottenere una forza direttrice molto energica.

Circuiti termo-elettrici. Loro effetti magnetici

91. I circuiti galvanici potrebbero anche denominarsi circuiti idro-elettrici. *Ydor*, in greco *acqua*. Così andrebbero distinti dai circuiti termo-elettrici, i quali sono formati di soli conduttori solidi metallici, cioè senza intervento di liquido alcuno, ed agiscono in conseguenza del riscaldamento inuguale. *Therme*, calore. In fatti, al solo turbarsi l'equilibrio del calorico tra metalli differenti in contatto reciproco, ne risulta certo deviamento dell'ago magnetico. Questo effetto sarà molto notabile se si opererà la successione alterna di due metalli, p. e. bismuto ed antimonio, ridotti a temperature inuguali. Anzi, quanto la successione sarà più numerosa, altrettanto quello si vedrà maggiore. I circuiti termo-

elettrici si formano di verghe metalliche. Quando questi elementi del circuito sono lunghi e sottili il fenomeno è più forte che quando sono corti e grossi.

Osserva il Michelotti che la deviazione dell'ago magnetico ed altri fenomeni analoghi dipendono dalla rapidità delle correnti elettriche, e dalla quantità di fluido elettrico che si scarica sull'ago. Il circuito termo-elettrico prevale sul circuito galvanico nell'azione sull'ago calamitato. Quindi esso dà una quantità di fluido elettrico maggiore. Il circuito termo-elettrico dà una quantità di fluido maggiore che ogni altro circuito conosciuto. Lo dobbiamo al Seebeck.

CAPO XIV.

Alcune analogie

E per mezzo della elettricità ordinaria

92. L'elettricità è una attrazione, una attrazione è il magnetismo.

L'attrazione delle differenti elettricità fra loro è in ragione inversa del quadrato delle distanze, in ragione inversa del quadrato delle distanze è l'attrazione dei differenti poli magnetici.

Presentate da lungi un polo magnetico alla limatura di ferro: esso l'attirerà come un bastone di ceralacca, o una turmalina in istato elettrico attira granelli di arena, minuzzoli di carta, di ferro, ed ogni altro corpo attenuato.

93. Sospendete orizzontalmente molti fili magnetizzati. Delle loro estremità quelle che si volgono verso uno stesso polo terrestre nel magnetizzamento sono state in contatto con un medesimo polo ma-

gnetico, e quindi hanno ricevuto un magnetismo della stessa natura. Se tali estremità si accostano le une alle altre elleno si respingono vicendevolmente. Al contrario accostando fra loro estremità che hanno ricevuti magnetizzamenti diversi, le vedrete attirarsi. In una distrazione, vedendo questo fenomeno, vi sembrerebbe esser testimonio di un fenomeno elettrico.

94. Alle analogie che passano tra le circostanze delle pile elettriche e galvaniche, non meno che della turmalina, e quella dei corpi magnetizzati, a quella dei punti conseguenti, all' uniformità delle leggi che regolano tanto i fluidi boreale ed australe, che i fluidi vitreo e resinoso, aggiugnete che la calamita, immersa nei sali metallici, ne opera, come la pila galvanica, la decomposizione. Osservazione del Murray.

95. Il magnetismo può al ferro essere comunicato dalla elettricità ordinaria (§. 82). Può esserlo dalla naturale. Le croci dei campanili sonosi talora trovate magnetizzate. Un fulmine caduto in una bottega magnetizzò i coltelli ch' erano in quella. Un fulmine che cade presso un ago magnetico, e talora la sola tempesta, agita questo notabilissimamente: il primo anzi talora le toglie la direzione (1). Le agitazioni dell' ago non sono meno sensibili in circostanze di tremoti e di eruzioni vulcaniche, fenomeni nei quali l' intervento della elettricità sembra innegabile.

---

(1) Con la scoperta dell' Oersted, e le osservazioni dell' Ampère e dell' Arago puossi tal effetto spiegare ammettendo che nel suo corso la elettricità atmosferica abbia operato girando sugli aghi magnetici.

96. L'azione elettrica della pila voltiana cambia la direzione naturale dell'ago calamitato.

L'azione elettrica della pila eccita l'azion polare in un ago di acciaio, od in una verga di ferro, come l'ecciterebbe una calamita.

L'azione elettrica in due fili che fanno parte di un circuito galvanico promove gli effetti che il magnetismo produrrebbe in due corpi magnetizzati.

Il fluido elettrico sembra si trasformi nella pila in fluido magnetico per rompere l'equilibrio tra le forze che mantengono l'ago calamitato nello stato suo naturale.

97. La elettricità ed il magnetismo sarebbero forse l'effetto di una stessa cagione, distinto sotto due differenti ordini di circostanze? due diverse modificazioni della sostanza medesima?

98. È intanto ad avvertire che di questi due fluidi il primo estende il suo potere sopra tutta la natura, e che il potere dell'altro, almeno per gli effetti che si conoscono, sembra più limitato; che il fluido elettrico si comunica da un corpo all'altro, ma che il corpo magnetico il suo fluido tiene sempre in se imprigionato; che il fluido elettrico opera lo scoppio, ma che il magnetico non lo produce; che, malgrado l'analogia osservata fra la turmalina e la calamita, se ad un ago magnetizzato presentasi una turmalina in istato elettrico, questa sopra di quello esercita la forza attrattiva medesima ch'eserciterebbe sopra qualunque altro corpo attenuato, ciò che nell'ago farebbe supporre una virtù elettrica dalla virtù magnetica independente.

LIBRO VII.

DELLA LUCE

CAPO I.

Idea della luce, e de' suoi fenomeni principali

1. All' apparire del sole noi sentiamo che tra noi e quell' astro vi ha una comunicazione la quale ci avverte della esistenza del medesimo, senza che ne sia bisogno toccarlo. Questa comunicazione che si esercita a distanza e che riceviamo per gli occhi constituisce la luce. I corpi che possono promuoverla immediatamente, e così manifestarci la loro esistenza, diconsi corpi luminosi. La luce che cagionano i corpi non solo rende visibili questi, ma pure i corpi non luminosi a lei presenti, i quali si denominano corpi illuminati. La intensità della luce, finchè questa è sensibile a' nostri occhi, direte chiarezza. La mancanza della luce constituisce la oscurità, le tenebre. Introduzione

2. I peripatetici dicevano che la luce non era corpo. Aristotele disse il moto delle stelle e del sole, stropicciando l' aria, produrre la luce. Ma tale oscuro modo di esprimersi non esclude la corporeità della luce, e San-Tommaso definiva la luce un *essere fisico producente effetto.* Dunque i peripatetici, quantunque corporea non confessassero la luce, pure corpo la reputavano. Fortunatamente la filosofia ha bandito le quistioni di parole. Ella attende ai fatti.

3. Filosofi antichi e moderni hanno ammesso l'etere. Secondo i caldei era la materia del cielo e degli astri. Forse un fuoco lo supponevano di altra natura e molto più sottile del fuoco elementare anche per loro ammesso. Pitagora, Anassagora, ed Aristotele convennero della natura eminentemente sottile dell'etere che dicevano attivo, vivificante, materia del cielo, estendentesi per tutto lo spazio, dove si muovono e fanno le loro rivoluzioni i corpi celesti. Cartesio ammise l'etere. Newton anche lo credette, e la qualità attiva di tal fluido sentì meno oscuramente che gli antichi. Locke e molti altri moderni la opinione della esistenza dell'etere hanno seguito. La maggior parte dei fisici all'etere attribuisce la causa della gravitazione (1). Cartesio avea supposto che l'etere, o materia del cielo, spinto dal sole e dalle stelle fino ai nostri occhi constituisse il fenomeno della luce.

Huyghens ed Eulero dicono la sensazione della luce sia cagionata dalle vibrazioni comunicate pe' corpi luminosi all'etere, che si considera mischiato all'atmosfera, e solo nello spazio tra l'atmosfera e i corpi luminosi, il quale fluido credono propaghi tali vibrazioni sino agli occhi nostri, come alle orecchie l'aria porta il suono: cioè che le picciole oscillazioni delle molecole dei corpi luminosi operino delle onde nella materia dell'etere analoghe alle vibrazioni che i corpi sonori imprimono nell'aria. Questa è la ipotesi delle *ondolazioni*, che vedete

---

(1) L'etere fluido universale e fluido gravifico è anche denominato.

avere origine in Cartesio, ma che Huyghens altamente migliorò, ed intorno alla quale il Mallebranche fu meno felice dell'Eulero. Abbracciata da molti, indi abbandonata, oggi è riprodotta per le cure del Young che l'ha corredata di esperienze importanti (1).

Epicuro credè che la luce sia lanciata dai corpi luminosi. Questa opinione fu illustrata dal Newton, e fu più generalmente ricevuta. Dice il Newton che il corpo luminoso, per una agitazione continua cui è suggetto, emette da ogni parte molecole della propia sostanza. Un raggio di luce, secondo il filosofo, è una seguela di molecole spinte in linea retta dal corpo luminoso, che si succedono senza interruzione.

Ciascuna delle due teorie ha ricevuto obiezioni (2). Ma quella del Newton è suggetta ad un nu-

(1) Le onde luminose, dice la ipotesi, risultando da' moti oscillatorii, cioè dai movimenti che han luogo alternamente in due sensi opposti, dovranno per conseguenza constare ciascuna di due semi-ondolazioni simili perfettamente in velocità, ma tra loro contrarie, delle quali cioè una spinge le molecole etere in avanti e l'altra le riconduce indietro; e se la prima le porta a dritta, l'altra le porta a sinistra, e sempre nella stessa quantità. Deducesi da ciò che, quando due serie di onde luminose, di ugual natura e di uguale intensità, si propagano in una stessa direzione, si produrrà che l'effetto di una delle due serie debba esser distrutto dall'effetto dell'altra, mentre esse apporteranno allora agli stessi punti dell'etere impulsioni uguali e contrarie. In tal caso la luce aggiunta alla luce produrrebbe la oscurità. Questo fenomeno, emergente dalla ipotesi delle ondolazioni, constituisce la legge cui il Young ha dato il nome di *principio delle interferenze.*

(2) » Non vi ha dubbio che tra il sole le stelle ed il nostro globo si muova della materia, ma sta a sapersi se le particelle che si suc-

mero minore di difficoltà reali che l' altra, e noi l' adotteremo. La teoria del Newton dà ragione molto soddisfacentemente dei fenomeni della luce: mentre di varii tra questi con la teoria delle onde manca la chiara spiegazione (1).

Corporeità o natura della luce

4. I, la luce, nell' attraversare i corpi diafani, segue l' andamento di una sostanza corporea attirabile dalle molecole di quelli; II, nelle sostanze gassose o liquide di natura diversa, e mischiate insieme, il moto della luce, con l' aiuto del calcolo, esprime il complesso dei moti parziali di lei in ciascuna di quelle sostanze; III, i raggi della luce possono essere modificati e disposti in maniera che i differenti lati loro presentino propietà fisiche differenti. In fine la mobilità è propietà della materia: la luce è mobilissima. Pruove tutte di corporeità.

La luce diremo un corpo sottile e di molecole tanto elastiche e disgregate che, malgrado qualunque accumulamento della sua materia, non offre

---

cedono sono emanate dai corpi celesti, o se da questi è solo comunicato un moto alle più vicine, e quindi trasmesso da una in altra per successivi impulsi. Differisce tal materia eterea e per la sua natura e pel modo con cui ella soggiace al moto: mentre produce effetti diversi; come sono p. e. il calore raggiante e le differenti sorte di luce » *Davy*.

(1) » Se si fa attenzione alle relazioni intime e multiplici che la teoria delle ondulazioni stabilisce tra i fenomeni i più differenti, si deve essere colpito insieme e della sua semplicità, e della sua fecondità . . . . Senza dubbio restano molti punti oscuri a rischiarare, soprattutto quelli che si riferiscono all' assorbimento della luce, come la riflessione sulle superficie metalliche ed i corpi neri, il passaggio della luce a traverso i mezzi imperfettamente trasparenti; ed i colori propii dei corpi. » *Fresnel*, della luce.

giammai nè massa, nè peso sensibile per le bilance conosciute. La rapidità con cui si propaga supera la immaginazione. Comprenderete ella essere un fluido.

5. Ogni punto del corpo luminoso è a considerarsi come la sommità comune di moltissimi coni, di densità picciolissima, composta di raggi che si estendono indefinitamente finchè non vengano arrestati. Talora gli stessi coni sono denominati raggi. L' asse di un cono luminoso è la linea alla quale si riferisce la direzione del moto della luce. Punto raggiante direte la sommità del cono luminoso, e la sommità comune a molti coni luminosi, e quindi il punto d' onde il raggio si disparte. I raggi si dicono convergenti quando tendono ad unirsi, divergenti quando tendono ad allontanarsi. Coni luminosi

6. La luce s' indebolisce a misura che dal punto raggiante si allontana. Questo indebolimento è in ragione inversa del quadrato della distanza. Immaginate un cono di luce, o fascio di raggi A B, (*fig.* 1) la cui sommità sia un punto qualunque del corpo luminoso. Immaginate un piano *e f* che tagli il cono e che, per semplificare l' esempio, supporremo perpendicolare all' asse *c d*. Movete il piano parallelamente a se stesso andando verso la base del cono : esso dividerà il cono, che non si accresce di raggi e non si diminuisce, in tanti cerchi le cui superficie andranno crescendo come il quadrato della distanza dalla sommità *c*. La distanza dalla sommità è misurata dalla porzione di asse che nel medesimo tempo è tagliata dal piano. Con questi dati se in *e f* la distanza della sommità è 3, il cerchio sarà 9, e quindi l' indebolimento della La densità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza dal punto raggiante

luce sarà in proporzione alla distanza come 9 a 3, o per dir meglio 3 di distanza produrranno 9 d'indebolimento: e se il cono sarà poi dal piano tagliato in *g h*, e la distanza del cerchio *g h* dal cerchio *e f* sarà 4, la superficie del cerchio *g h* sarà 16, e quindi in questo cerchio l'indebolimento della luce in proporzione alla distanza del cerchio *e f* sarà come 16 a 4; ovvero i 4 di distanza dal cerchio *e f* produrranno 16 d'indebolimento dalla intensità di *e f*. Così, se in una data distanza, con il lume di una candela io leggo un libro, volendo leggerlo con la medesima chiarezza ad una distanza doppia, quattro simili candele saranno necessarie. Risulta dall'anzidetto che la intensità della luce in un dato spazio è in ragione inversa del quadrato della distanza.

Corpi diafani, corpi opachi

7. I corpi che come l'acqua, l'aria, il vetro, l'olio può la luce passare da parte a parte diconsi corpi trasparenti, e mezzi che dalla luce sono attraversati (1). I mezzi si distinguono in più rari e più densi, ovvero in più e meno densi: circostanze relative fra gli uni e gli altri, e risultanti dal peso rispettivo. Così l'aria è più rara dell'acqua, poichè

(1) Mezzo si dice ogni fluido liquido ed ogni fluido aeriforme, che circonda o involge un corpo, sia questo in moto od in riposo. Tal nome si adatta all'aria ed all'acqua, ed ai fluidi che imitano l'una o l'altra, relativamente alla luce che gli attraversa. Si adatta pure ai corpi solidi trasparenti relativamente alla luce, dalla quale sono non meno attraversati. Si adatta ai fluidi liquidi o aeriformi relativamente a qualunque solido che si muova o possa muoversi in loro. Per analogia è adattabile a tutt'i corpi ponderabili relativamente a qualunque fluido imponderabile che possono contenere o ricevere.

meno pesante di questa. I corpi che non possono essere attraversati dalla luce, p. e. una verga di metallo, diconsi corpi opachi. I corpi opachi assorbono o respingono la luce.

8. Quando un raggio di luce attraversa in qualunque modo il medesimo mezzo, o attraversa mezzi omogenei e di densità uguale, o passa perpendicolarmente da un mezzo in un altro, esso continua il suo corso senza cambiar direzione: luce diretta. Lo studio della luce diretta dicesi ottica: la voce ottica viene dal greco *optome*, vedere. Quando poi, procedendo obliquamente, passa da un mezzo in un altro, come p. e. dall' aria in un vetro, allora è rimosso dalla sua direzione, e sembra rotto al punto del passaggio. Tal deviamento rifrazione va denominato, ed il raggio rimosso appellasi raggio rifratto o rotto. Il raggio rifratto, se da un mezzo meno denso passa in un mezzo più denso, si avvicina alla perpendicolare; e se ne allontana se dal mezzo più denso passa in un mezzo meno denso. Lo studio della luce rifratta dicesi diottrica, dalle voci greche *optome*, vedere, e *dia*, a traverso. Quando un raggio di luce, dopo di essere entrato in direzione obbliqua in un mezzo, incontra un ostacolo che gl' impedisce di passar oltre, allora retrocede, ripiegandosi nello stesso mezzo, e presentando in certo modo l' effetto di una palla di avorio che cadesse sopra una tavola di marmo. Questo retrocedimento dicesi riflessione, ed il raggio rimosso in tal guisa dicesi raggio riflesso. Lo studio della luce riflessa dicesi catottrica: la voce viene da *optome*, vedere, e da *catopton*, specchio, per-

Luce diretta, rifratta, riflessa, difratta

chè gli specchi per la loro levigatura danno l'esempio il più evidente della riflession della luce. Quando un raggio di luce passa vicino alle estremità di un corpo, esso è piegato e deviato dalla sua prima direzione, secondo la diversa rifragibilità. Questo fenomeno si dice difrazione. Le anzidette regole, tutte costanti, nei primi casi (luce diretta) dipendono dalla disposizione delle molecole della luce, non alterata per la omogeneità dei mezzi, o incalzata da sopra in sotto per la loro perpendicolarità in concorso simultaneo con la disposizione delle molecole dei mezzi; nella rifrazione e nella riflessione dipendono dall'attrazione fra la luce ed i corpi che attraversa, o dai quali è respinta. Sotto la voce *ottica* non solo la teorià della luce diretta, ma talora in senso ampliativo s'intende tutta la teoria del vedere.

Tre modi di vedere gli oggetti.

9. Immergete nell'acqua un bastone dritto. Al luogo dove penetrerà il liquido, il bastone sembrerà rotto. Ecco un esempio di rifrazione.

In una stanza oscura, per una picciola foratura, entri un raggio del sole. Facciasi quello cadere sopra una lastra di vetro. Una parte del raggio sarà riflettuta, e situandosi l'occhio nella direzione della riflessione si vedrà l'immagine del sole come venisse da sotto la lastra. Ecco un esempio di riflessione.

Sulla difrazione discorreremo altrove.

Esempii relativi al §. 8

10. Noi vediamo gli oggetti in tre modi

I. Col mezzo della luce che ci perviene immediatamente dai corpi luminosi: visione diretta. Esempio: per mezzo del lume di una candela io veggo

la carta sulla quale scrivo, la mano di cui mi valgo a scrivere, la sedia, la stanza, il quadro.

II. Col mezzo dei raggi che attraversano un corpo trasparente; visione rifratta. Esempio: l'uso degli occhiali, i pesci che si veggono sott' acqua.

III. Col mezzo di corpi che riflettono agli occhi nostri la luce ed i corpi illuminati: visione riflessa. Esempio: l' uso dello specchio.

11. Un corpo opaco non può essere tutto illuminato da un corpo luminoso. La parte di lui priva di luce ch'è situata dal lato non illuminato dicesì ombra. L' ombra, propiamente detta, rappresenta un solido la forma del quale dipende insieme e dalla forma del corpo luminoso, e da quella del corpo opaco, e dalla disposizione di questo relativamente al corpo luminoso. Dell' ombra

12. Supponete (*fig.* 2) due globi, uno luminoso *a*, uno opaco *b*, de'quali il primo abbia maggior diametro del secondo. L' ombra sarà un cono. Questo cono si determinerà da una linea che, partendo dal corpo luminoso, unisce i due centri, e va oltre il corpo opaco, e da una tangente comune ai due globi fino all' incontro in *c* delle due linee fra loro, qual tangente concepirete nel punto *c* dell' incontro tagliare l' altra linea, girare intorno a lei, e divenir tangente anche nella parte opposta del globo opaco. Così avrete un cono la cui base sarà terminata da tutt' i punti di contatto del corpo opaco. Vi avvedete che in questo caso la parte illuminata del globo opaco sarà più grande che la parte oscura.

13. Se i due globi saranno uguali, l'ombra sa-

rà un cilindro di lunghezza indefinita e la metà del globo opaco sarà illuminata.

14. Se il globo opaco è più grande del luminoso, l'ombra sarà un cono troncato di lunghezza indefinita, e la parte illuminata del primo sarà minore che la parte oscura.

Penombra

15. La penombra è una degradazione di luce che si osserva fra lo spazio occupato dalla ombra proiettata da un corpo, ed i punti più fortemente illuminati dalla luce circostante.

Basi della gnomonica

16. L'ombra di una verga perpendicolare od obbliqua sopra un dato piano è un triangolo che si determina con una retta che dalla sommità della verga si estende fino al corpo luminoso, facendo il più piccolo angolo possibile. I lati di questo triangolo sono I, la parte di questa retta compresa fra la sommità della verga ed il piano, II, la verga, III, la linea che dal piede della verga si porta ad incontrare la porzione della retta I. La linea III sarà l'ombra, la quale crescerà e si diminuirà a misura che l'angolo il cui vertice si confonde con la sommità della verga sarà più o meno grande, cioè a misura che il corpo luminoso si eleverà o si abbasserà relativamente al piano: e se il corpo luminoso si allontanerà a dritta o sinistra dalla prima situazione del triangolo che avea determinato l'ombra, questa presenterà sul piano movimenti in senso contrario. Queste sono le basi della gnomonica, ovvero arte di fare gli orologi a sole.

Metodo per misurare le altezze

17. Con l'ombra proiettata sopra un piano orizzontale possonsi misurare le altezze degli edificii e di altri oggetti simili. Sia da misurarsi una torre.

Piantate verticalmente un bastone nel suolo. Misurate la parte di quello sovrastante a questo. Misurate l' ombra del bastone e l' ombra della torre. L' ombra del bastone capite stare al bastone come l' ombra della torre sta alla torre : quindi le lunghezze delle ombre sono proporzionali alle altezze dei due oggetti che le producono. Moltiplicate la lunghezza dell' ombra della torre per l' altezza del bastone : dividete il prodotto per la lunghezza della ombra del bastone : il quoziente sarà l' altezza della torre.

18. La luce si muove con tale rapidità che per lungo tempo istantaneo si è creduto il suo propagamento, cioè che questa rapidità escludesse tutt' i mezzi di misurarla. Il Cassini ed il Roemer, nella osservazione della ecclissi del primo satellite di Giove, scoprirono una misura del moto di lei. In fatti quando i satelliti di Giove, che sono tante lune illuminate dal sole, si ecclissano dietro il loro pianeta, e poscia si liberano dalla ombra del medesimo, passa costantemente certo tempo fino a che tornino ad essere veduti : ritardo più o meno lungo a misura che la terra è più o meno lontana da Giove. La luce del sole giunge a noi in 8 minuti primi e 13 secondi, e scorre perciò la estensione di più di 32000 miriametri per minuto secondo. Rapidità della luce

A considerar la immensità dello spazio nel quale si muovono le grandi macchine mondiali, tenuta presente la rapidità che nel suo corso offre la luce, basta sapere che la luce della stella più a noi vicina, secondo gli astronomi, impiega almeno tre anni per giugnere a noi.

Sorgenti della luce

19. Quattro sono le sorgenti della luce

I. Il sole, le stelle. Le stelle sono considerate come tanti soli.

Proclo, espositore della dottrina di Orfeo, diceva che il sole avea nelle mani le chiavi della vita. Quindi Lavoisier " Senza luce, la natura sarebbe stata senza vita ".

II. La combustione, o abbruciamento.

III. Il riscaldamento: ricordate la luce del ferro rovente. La differenza tra i fenomeni dell' arroventamento e della combustione si spiega dalla chimica.

IV. La percossa e lo stropicciamento. Esempii: una pietra focaia battuta con l' acciarino; due pietre focaie fregate rapidamente fra loro.

CAPO II.

Della rifrazione

Punto d'immersione, punto d'emergenza

20. Il punto per lo quale un raggio di luce entra in un mezzo dicesi punto d' immersione. Il punto per lo quale un raggio di luce esce da un mezzo si dice punto di emergenza.

Angolo d' incidenza in un corpo trasparente, angolo di rifrazione

21. L' angolo d' incidenza in un corpo trasparente *b c* (*fig.* 3) è quello che fa il raggio *a* che cade in tal corpo con una perpendicolare *e d* che ascende dal punto d' immersione. L' angolo di rifrazione è quello che fa il raggio rotto ovvero rifratto *e f* con il prolungamento *e h* della perpendicolare medesima. Fra gli angoli di rifrazione e gli angoli d' incidenza vi è rapporto costante. Nel passaggio dall' aria nell' acqua è di 4 a 3; dall' aria nel vetro

è di 3 a 2: lo stesso rapporto in senso inverso avviene quando il raggio passa dall' acqua nell' aria, dal vetro nell' aria ec.

La luce della emerg. prende direzione parallela alla incidenza, attraversando superficie parallele

22. Se le due superficie del mezzo dalla luce attraversato, per esempio di un vetro, sono parallele fra loro, la luce nel ritornare pel punto di emergenza al mezzo circostante, per esempio nell' aria, prenderà una direzione parallela alla porzione incidente.

Doppia rifrazione

23. Molti minerali hanno la propietà di obbligare il raggio che li penetra a dividersi in due parti. Di questo fenomeno, che direte doppia rifrazione, ragioneremo in appresso.

Rifrazione in mezzi terminati da superficie curve

24. Una superficie curva considererete come una quantità non interrotta di piccioli piani, variamente inclinati fra loro (*Lib. I. fig.* 6). Quando un cono di luce cade sopra una porzione di una superficie curva, ed il corpo di cui quella forma una estremità è trasparente, ogni raggio, dal picciolo piano che penetra, riceve la sua rifrazione. Or le varie inclinazioni dei piccioli piani della superficie rifrangente obbligano i raggi rifratti, nel tendere verso lo stesso punto, a prendere gli uni relativamente agli altri delle situazioni dipendenti dalla figura del mezzo, ed a tenere direzioni convergenti o più divergenti dei raggi incidenti. Con lo studio delle varie rifrazioni cagionate dai mezzi terminanti in superficie curve i fisici sonosi portati a formare gl' istrumenti per mezzo dei quali gli oggetti lontani come vicini a noi si presentano, e gli oggetti piccioli, e talora quasi impercettibili, giugniamo a distinguere comodamente.

Rifrazione in un mezzo che ha una sola superficie curva. I. caso: quando il raggio passa da un mezzo meno denso in uno più denso

25. Sia *a b c* (*fig.* 4) parte della superficie di una sfera, *d e*, *d f* sieno due raggi incidenti mossi da un punto *d*. Questi raggi sieno molto vicini all' asse del cono luminoso *d b*, e con questo facciano angoli uguali. Le perpendicolari *g*, *h* ai punti d' immersione sono per necessità su i prolungamenti di due raggi di cerchio cui appartiene l'arco *a b c* ed il cui centro è in *m*. Quindi queste perpendicolari sono convergenti verso l' asse *m b* : e se supporremo la materia della sfera essere più densa che il mezzo che la tiene involta e ch' è attraversato dai raggi incidenti, comprenderemo agevolmente che i raggi *o n*, *p q*, avvicinandosi alla perpendicolare, si avvicineranno all' asse. Inoltre, se il punto *d* è ad una distanza dalla superficie *a b c* conveniente ad un effetto che ci portiamo a supporre, i raggi convergenti verso l' asse si riuniranno nel punto *r* del medesimo. Tutti gli altri raggi mossi dal punto raggiante *d*, e che co' raggi descritti compongono un cono di luce, la base del quale ha per centro il punto *b* ed il picciolo arco *e f* per diametro, convergeranno parimente gli uni verso gli altri, così che dietro la superficie *a b c* formerassi un nuovo cono opposto al primo per la base, la cui sommità sarà *r*, ch' è il foco, ovvero punto focale della luce partita dal punto raggiante.

Punti focali

26. Foco, o punto focale, comprendete ora denominarsi il luogo dove i raggi della luce partita da un punto si riuniscono. La teorica dei punti focali appartiene alla luce rifratta ed alla luce riflessa.

27. Immaginate il punto *d* (*fig.* 4) maggiormente allontanato dalla superficie rifrattiva. I raggi

incidenti, come molto vicini all' asse, formeranno angoli più piccoli che nel caso esposto al §. 25. Quindi la convergenza sarà maggiore. Per conseguente il punto focale sarà in minor distanza che in *r*.

Talora il punto raggiante può allontanarsi al segno che i raggi partiti da quello, giunti ad una data convergenza, resteranno paralleli fra loro. Così sono relativamente all' occhio nostro gli oggetti molto lontani che osserviamo col mezzo dei cannocchiali.

28. Immaginate il punto raggiante si avvicini alla superficie rifrattiva maggiormente che in *d*: Ragioni analoghe alle esposte nel §. 27 dimostreranno che il nuovo foco sarà in maggior distanza che *r*.

Ed a misura che diminuirassi la distanza fra la superficie rifrattiva ed il punto raggiante, i raggi incidenti saranno meno convergenti e finiranno per rendersi paralleli (*fig.* 5). Allora non vi sarà più foco reale, e bisognerà prolungare i raggi sopra la superficie rifrangente per avere il loro punto di unione che sarà in *d'* dalla parte stessa del punto raggiante, ma ad una distanza maggiore. Il punto di unione supposto denominerete foco immaginario, o punto focale immaginario. Secondo le circostanze il punto focale immaginario può essere più lontano e più vicino del punto raggiante.

29. Considerato il cono luminoso che passa da un mezzo meno denso in un mezzo più denso, è d' uopo volgersi alla circostanza in cui passa da un mezzo più denso in un mezzo meno denso. In que- II. Caso. Quando il cono luminoso da uno più denso passa in un mezzo denso (V. §. 25)

sto caso (*fig.* 5) i raggi rotti *o n* , *p q* faranno angoli più aperti che que' d' incidenza , e sarà d' uopo supporre un punto focale immaginario più vicino alla superficie rifrangente del punto raggiante *d*.

Rifrazione in un mezzo che ha la superficie concava

30. Se il mezzo rifrangente , anzi che convesso , sarà concavo (*fig.* 6), i raggi rotti diverranno anche divergenti , e notabilissimamente tali sino a ridursi in istato parallelo.

Rifrazione in un mezzo terminato da due superficie curve opposte fra loro

31. Supponiamo il mezzo *a b c* (*fig.* 7) abbia la superficie inferiore curva nello stesso modo che la superiore , e che le due concavità sieno disposte una di rimpetto all' altra. In questo caso se avverrà convergenza in una metà del mezzo , (ciò che dovrà dipendere dal trovarsi questo di densità maggiore che il mezzo circostante) , convergenza maggiore osserverete nell' altra metà , ed il punto focale *r* sarà più vicino alla superficie *a e c* , che nel caso in cui la convessità di questa non avesse avuto luogo.

32. Se il punto *d* si allontanerà maggiormente (*fig.* 7) la convergenza dei raggi rifratti si accrescerà : ciò che avvicinerà sempre il punto focale alla superficie inferiore *a e c*. E quando il punto *d* si troverà in una distanza infinita , p. e. come i corpi celesti , allora i raggi incidenti *o p* raggi si considereranno paralleli , ed il foco *r* prenderà nome di foco o di punto focale dei raggi paralleli.

Varietà delle superficie dei mezzi rifrangenti

33. Il mezzo rifrangente può supporsi convesso da amendue i lati ; concavo da amendue i lati ; piano-convesso , ovvero convesso da un lato , piano dall' altro ; piano-concavo , ovvero piano da un lato concavo dall' altro ; convesso-concavo ovvero con-

vesso da un lato concavo dall' altro, ed in questo caso prende il nome di menisco. Queste diverse configurazioni, combinate con le diverse densità dei mezzi, portano a moltiplici risultamenti ai quali le cose qui accennate sull' assunto servir possono d' introduzione.

34. La forza dei corpi diafani per deviare i raggi di luce dalla loro direzione primitiva, ed obbligarli ad ubbidire alla legge della rifrazione, è una forza acceleratrice che agisce perpendicolarmente alla superficie di tali corpi. Questa dal Newton si denominò potenza rifrattiva. Egli la determina nel modo seguente. Un raggio di luce *a b* (*fig.* 8) incontri la superficie *c d* di un corpo qualunque sotto un angolo piccolissimo *a b c*, *o*, ciò ch' è lo stesso, l' angolo d' incidenza *a b c* senza error sensibile possa dirsi retto. Poscia il moto *b f* del raggio rotto si consideri decomposto secondo due direzioni delle quali una *b g* è situata sulla superficie rifrangente, e l' altra *f g* è perpendicolare al medesimo. Or siccome il raggio incidente *a b* aveva una velocità reputata nulla nel senso di questa perpendicolare, tutto l' effetto che ha luogo nello stesso senso dipende dalla forza acceleratrice, ossia potenza rifrattiva del mezzo. Qui è a sapere che in tutte le incidenze del raggio, quando questo passa da un mezzo meno denso in un altro più denso, l' accrescimento della velocità verticale è per quadrati. Esempio: se la velocità verticale del raggio nel mezzo meno denso era 4, quando passa nel mezzo più denso diviene 16. Posto tutto l' anzidetto, avvenendo la incidenza in un angolo infinita-

Potenza rifrattiva

mente piccolo, se si suppone costante la linea $b\ g$, la potenza rifrattiva sarà come il quadrato della perpendicolare $f\ g$.

CAPO III.

Della riflessione

Angolo d'incidenza sopra una superficie opaca, angolo di riflessione

35. In circostanze di riflessione della luce dirette angolo d'incidenza quello formato dalla prima direzione del raggio riflesso con un piano tangente al punto della superficie dove questa incontra il raggio. L'angolo formato col piano tangente dalla seconda direzione del raggio dirете angolo di riflessione. L'angolo d'incidenza, $a\ b\ c$, (*fig.* 18) è sempre uguale all'angolo di riflessione, $d\ b\ e$.

I raggi paralleli riflettuti da una superficie piana sono paralleli dopo la riflessione

36. Per conseguente se più raggi paralleli fra loro cadono sopra una superficie piana che li rifletta, essi saranno paralleli fra loro anche dopo la riflessione (*fig.* 9). I raggi del sole provenienti da un punto raggiante ad una distanza infinita (§. 32), introdotti per due fori fatti ad una finestra, e ricevuti sopra uno specchio, subiranno una riflessione parallela.

Sieno convergenti, sieno divergenti, si conservano tali anche dopo la riflessione

37. Se i raggi che cadono sopra una superficie piana saranno convergenti o divergenti, essi, dopo la riflessione, conserveranno la stessa convergenza o divergenza. Supponiamoli convergenti. Il complesso delle porzioni incidenti dei raggi potrà considerarsi come un cono troncato, ed il complesso delle porzioni riflettute dei raggi potrà considerarsi come la parte staccata del cono situata sulla superficie

dove avviene la riflessione, in modo che la base di tal complesso si confonderà con la più picciola base del cono troncato (*fig.* 10). Questa teoria può facilmente applicarsi ai raggi divergenti.

38. La riflessione sulle superficie concave sferiche rende convergenti que' raggi ch' erano paralleli prima della loro incidenza, accresce la convergenza di quelli ch' erano già convergenti. I raggi ch' erano divergenti la riflessione sulle superficie concave può secondo le varie circostanze rendere e convergenti, e paralleli, ed anche divergenti, sebbene sempre meno che nella incidenza. Riflessione sulle superficie concave

39. Sullo specchio concavo *a b* (*fig.* 11) cadano i due raggi paralleli *c d*, *e f*. Questi, fatti gli angoli di riflessione uguali a quelli della loro incidenza, convergeranno in *g*. Esempii relativi al §. 37

Due raggi convergenti *l m*, *n o* (*fig.* 12) incontrino lo specchio concavo *a b*. Questi, senza lo specchio, si sarebbero uniti in *h*; ma per lo specchio sono riflettuti e si uniscono in *i*, molto più vicino ai punti dei contatti *m* o della tangente che il punto *h*.

Sieno *p q*, *r s* (*fig.* 13) due raggi divergenti che cadono sullo specchio concavo *a b*. L' angolo d' incidenza *r s t* si troverà diminuito, e per conseguente l' angolo di riflessione *u s x* sarà diminuito ancora; d' onde risulterà che i raggi *q p*, *s r* diminuiranno a grado a grado di convergenze, a misura che *r s* inchinerassi verso *p q* in modo che, giunti ad un certo termine *q y* ed *s u*, diverranno paralleli, ed oltre quel termine saranno divergenti sebbene meno che nella incidenza.

Punto focale dei raggi paralleli riflessi dalla superficie concava

40. Di tutt' i raggi che cadono sulle superficie concave sferiche paralleli fra loro ed all' asse della sfera, quelli che sono più vicini all' asse, dopo la riflessione tendono a riunirsi alla metà del raggio della sfera. Questo piccolo spazio dove tendono a riunirsi si denomina punto focale dei raggi paralleli.

Sia *a b* (*fig.* 14) una concavità sferica che abbia il centro in *x*. Sieno *c d* i raggi di luce paralleli. Dal centro *x* partano i raggi della concavità sferica *x e*, *x f*. Ciascuno di questi equivale alla metà dell' asse *x g*. Ora i raggi paralleli *c d* rifletteranno in *e f*, e si uniranno in *k*, ch' è il quarto dell' asse, il quale come avete veduto equivale alla metà del raggio.

Punto focale dei raggi divergenti riflessi dalla superficie concava

41. Il testè accennato intorno ad un fascio di raggi paralleli può applicarsi ad un fascio conico *d e* (*fig.* 15) il quale mova da un punto in là dal centro *x* della concavità *a b*, e presenti raggi accostanti molto al parallelismo, cioè che facciano angoli picciolissimi. In questo caso il punto focale dei raggi riflessi sarà in *f* oltre la metà *i* del raggio *x g* della concavità, e varierà secondo il punto d' onde parte il cono.

Riflessione sulle superficie convesse

42. Tutti gli effetti di sopra espressi avvengono in senso contrario nella riflessione sulle superficie convesse che fanno parte di quella di una sfera. Quindi sulle superficie convesse la riflessione dei raggi paralleli rende i raggi divergenti; la riflessione dei raggi divergenti accresce di questi la divergenza; la riflessione dei raggi convergenti può secondo le circostanze renderli divergenti, paralleli,

o pure anche convergenti, sebbene in un grado minore che nella incidenza.

Punto focale immaginario dei raggi paralleli riflessi dalle superficie convesse

43. Nel medesimo caso la riflessione dei raggi paralleli fra loro ed all'asse della convessità avverrà in modo che, se i raggi riflessi si prolungheranno sotto la convessità, essi concorreranno ad unirsi in un punto focale immaginario fra la metà del raggio della sfera ed il punto dove questo raggio taglia la superficie riflettente, punto che senza errore sensibile considererete alla stessa metà del raggio.

CAPO IV.

Analogìa tra la rifrazione e la riflessione

Sopra il mezzo rifrangente non tutt'i raggi rifrangonsi. Alcuni sono riflettuti

44. I raggi che cadono sulla superficie di un mezzo rifrangente di densità diversa da quella del mezzo nel quale movevansi non penetrano tutti il secondo mezzo: parte di essi è riflettuta al contatto dei due mezzi.

Anzi, quando il secondo mezzo è più raro del primo tutt'i raggi sono riflettuti

45. Sia il secondo mezzo più raro del primo. A misura che i raggi, allontanandosi dalla incidenza perpendicolare, inclineranno maggiormente sulla superficie del secondo mezzo, il numero dei raggi che sfuggono alla rifrazione osserverassi più considerevole, e vi sarà un termine in cui tutti saranno riflettuti.

Cenno del fenomeno dello specchio nell'acqua

46. Sia il secondo mezzo più denso del primo. Al contatto dei due mezzi una porzione di raggi sarà riflettuta. Questa però è meno considerevole che nel caso antecedente, e, per quanto obbliqua sia l'incidenza, vi saranno sempre e raggi riflessi

e raggi rifratti. I raggi riflessi in questa circostanza producono nell' acqua tranquilla ed in altri corpi trasparenti il fenomeno dello specchio.

Spiegazione del fenomeno della rifrazione secondo il Newton

47. Immaginate *a b* (*fig.* 16) essere un raggio di luce che alla superficie del mezzo *c d e f*, più denso che l' aria, penetri l' aria in direzione obbliqua. Prolungato *e d* sino a che *d g* sia uguale al raggio della sfera di attività sensibile del mezzo *c d e f*, *e*, presa sopra *d e* la parte *d h* uguale a *d g*, si estendano le linee *g i*, ed *h k* parallele a *c d*. Il raggio, da che avrà toccato la linea *g i*, comincerà ad essere più attratto dal mezzo *c d e f* che dall' aria, e questa attrazione, avvenendo secondo *b l* perpendicolare sopra *d c* si combinerà con la velocità secondo *a b*, in modo che il raggio devierà dalla sua direzione, descrivendo la diagonale di un picciolo parallelogramma formato dalle direzioni delle due forze che lo sollecitano, e dalla ripetizione dei due lati che le esprimono. A misura che il raggio avvicinerassi a *c d*, sarà più vigorosamente attratto dal mezzo *c d e f*, e la velocità sua per accostarsi a questo mezzo si accelererà per gradi, le cui differenze si andranno aumentando senza che la velocità orizzontale sia cambiata, mentre il moto continuerà ad inflettere in ogni istante, descrivendo una curva *m b* la concavità della quale sarà girata verso *c d*. Quando il raggio sarà giunto sotto la linea *c d* troverassi attratto insieme da alto in basso dalle parti del mezzo che gli saranno inferiori, e da basso in alto dalle parti superiori: e come l' attrazion di queste ultime parti si estende da principio ad una distanza minore che il raggio *d h*

della sfera di attività del mezzo, mentre quella delle parti inferiori agisce in tutta la estensione del raggio medesimo, ne siegue che il moto del raggio di luce *b m* continuerà ad accelerarsi, ma per gradi le cui differenze andranno descrescendo, sebbene la nuova porzion della curva *m n* ch' ei descriverà sarà girata nello stesso senso che la prima. D' altronde, tosto che il raggio toccherà la linea *k h*, esso si ritroverà interamente prolungato nella sfera di attività del mezzo, ed allora, essendo ugualmente attirato da tutt' i lati, alla estremità della curva *b m n*, prenderà un moto rettilineo diretto secondo la linea *n o*.

Il raggio nel descrivere tal curva accostasi alla perpendicolare *p m q* al punto d' immersione: e, perchè la curva è molto picciola, la direzione del raggio sembra esser composta solo di linee rette che si rompono al punto d' immersione, come *a b*.

Gli effetti descritti nella parte superiore del mezzo rifrangente si ripetono in un ordine inverso dopo il punto *o*, la cui distanza dalla linea *e f* è uguale a quella del raggio *d h* della sfera di attività sensibile del mezzo, così che il raggio di luce qui descrive una seconda curva *o r s* simile alla prima, la concavità della quale seconda curva è volta in senso opposto: d' onde risulta che, quando il raggio è attratto solo dall' aria circostante, esso si muove in linea retta seguendo *s t*, allontanandosi dalla perpendicolare *u r x* al punto di emergenza, in modo che l' angolo formato da *s t* con *r x* sia uguale a quello che formano fra loro le linee *a b*, *p m*, cioè *s t* è parallela ad *a b*.

48. L' attrazione dell' aria si combina con quella del mezzo *c d e f* sino ad un certo limite situato ad una distanza da *c d*, o da *e f* minore di *d g*, e come ella agisce sempre più debolmente che quella del mezzo *c d e f* alla quale la sua direzione è contraria, il suo effetto si limita a modificare alquanto la figura della curva *b m n*, o della curva *o r s*; sebbene senza alterare il senso della concavità.

D' altronde egli è agevole comprendere che le picciole alterazioni che soffre la forza del mezzo *c d e f* dall' aria, essendo le stesse da una parte e dall' altra a distanze rispettivamente uguali da *c d* e da *e f*, le due curve *b m n* ed *o r s* si somiglieranno fra loro, in modo che, tutto compensato, il moto del raggio potrà considerarsi come prodotto da una sola forza acceleratrice variabile in certi limiti vicini alle linee *c d*, *f e*, e che dall'una parte e dall'altra soffre gli stessi cambiamenti in senso opposto.

In questo modo dal Newton il fenomeno si spiega della rifrazione.

Come la rifrazione si cambii in riflessione

49. Abbiamo accennato che i raggi i quali cadono sotto una certa obbliquità sopra un mezzo più raro di quello nel quale si trovano, al contatto dei due mezzi (§. 45), sono tutti riflettuti. Or, dopo la spiegazione testè esposta della rifrazione, sarà più agevole comprendere come il fenomeno della rifrazione cambiar possa in riflessione.

Il raggio di luce, giunto ad una distanza dal contatto dei due mezzi, trovandosi più attirato dalle molecole situate sopra di lui, che da quelle che sono al di sotto e che appartengono al mezzo più

raro, comincerà ad inflettere il suo moto ed a descrivere una curva che volgerà la convessità sua verso la superficie del contatto. Or se tale è la inflessione della curva che questa tagli la superficie del contatto, una porzione sola di raggi sarà riflettuta al contatto ed il resto sarà trasmesso (*fig.* 17). Se poi la obbliquità del raggio incidente è a bastanza grande perchè siavi un arco della curva la cui tangente sia parallela alla superficie del contatto, il raggio, descritto questo arco, rialzerassi descrivendo un secondo ramo di curva simile al primo, dopo di che prenderà un moto uniforme, seguendo la tangente dell' ultimo arco della curva, e questa tangente troverassi inclinata sulla superficie del contatto della stessa quantità che il raggio incidente: laonde l' angolo di riflessione sarà uguale all' angolo d' incidenza, e tutto il raggio si troverà riflettuto (*fig.* 18).

Opinione del Newton

50. Osservò il Newton in generale i mezzi i quali rinfrangono più fortemente la luce, cioè che coi raggi per loro rifratti fanno angoli più sensibili; essere quelli stessi che possono più fortemente rifletterla. Egli è di avviso la rifrazione e la riflessione dipendere da una stessa causa, secondo la diversità delle circostanze.

CAPO V.

Della decomposizione della luce

Idea dei colori

51. I raggi che dai corpi luminosi a noi immediatamente pervengono ci presentano le immagini di questi accompagnate da quel vivo splendore conosciuto nella espressione luce. Di tai raggi quelli che sono riflettuti dai corpi ci avvertono della presenza di questi, offrendo a noi le immagini dei medesimi sotto apparenze particolari che indichiamo con la voce colori.

Spettro solare. Prisma

52. Facendo passare un cono della bianca luce del sole a traverso un prisma triangolare di vetro, e ricevendolo sopra una carta bianca vi si presenta una immagine del sole allungata e di varii colori, disposti a fasce trasversali, conosciuta col nome di spettro solare. I colori sono distribuiti con l'ordine seguente: rosso, arancio, giallo, verde, turchino (*bleu*) indaco, violetto (*fig.* 19). Questo prisma è di vetro bianco esente per quanto è possibile di bolle, di vene, di altri difetti simili. Le facce sue laterali esser debbono esattamente piane e di ottima politura. L'angolo formato dalle due facce, delle quali una riceve il raggio di luce che si rifrange dal prisma, e l'altra gli dà l'uscita al suo ritorno nell'aria, si denomina angolo rifrangente del prisma. L'asse del prisma è una linea dal vertice alla estremità opposta.

Spettro della luce rifratta e riflessa

53. La luce rifratta o riflessa da diversi corpi, attraversato il prisma, presenta d'ordinario uno

spettro come lo spettro solare. D'altronde, quanto la luce è meno bianca, tanto maggiormente incompleti sono gli spettri di lei.

Esperimento del Newton

54. Il Newton (*fig.* 19) introdusse un raggio solare per un forame del diametro di 9 millimetri fatto alla imposta della finestra di una camera molto oscura. Presso tale apertura collocò il prisma in modo che il raggio, dopo la rifrazione attraverso il prisma, si portasse a dipingere lo spettro solare sul muro opposto alla finestra. L' asse del prisma era perpendicolare ai raggi incidenti, ed il filosofo, facendo intorno a quello girare lentamente il prisma, vedeva lo spettro discendere e salire sul muro. Tra questo discendere e salire eravi un momento in cui lo spettro sembrava immobile. Allora il prisma trovavasi situato in modo che le rifrazioni dei raggi incidenti e quelle dei raggi emergenti erano uguali. Di questa situazione si valse il filosofo in tutti i suoi sperimenti relativi alla decomposizion della luce. Dello spettro due distinte linee rette erano i lati, due semicerchi poco distinti formavano le estremità superiore ed inferiore. Anzi delle fasce colorate niuna era precisamente terminata, mentre non poteasi determinare con precisione dove finisse un colore e cominciasse l' altro. La lunghezza dello spettro trovavasi corrispondere alla grandezza apparente del diametro del sole, sebbene non circolare, allungata. L' allungamento dello spettro fece conoscere al filosofo che i raggi formanti lo spettro, cioè i raggi del sole, avessero diversi gradi di rinfrangibilità. Vedremo or ora come egli stabilisse il suo ragionamento.

Spiegazione del fenomeno

55. Il cono di luce proiettato sul muro, senza frammezzamento del prisma, formerà un cerchio luminoso in cui le estremità tutte dei raggi sono unite insieme, ed il quale presenterà la grandezza apparente del sole, e ricevuto in un prisma il cui asse sia parallelo all'orizzonte, i raggi non saranno separati sensibilmente. Ma, situati tutt' i suoi raggi in un medesimo piano verticale, ed incontrando sotto diverse inclinazioni le due facce del prisma che formano l'angolo rifrangente, essi saranno separati.

56. Supponiamo i raggi del cono *a* (*fig.* 20) tutti dotati di rifrangibilità uguale. La rifrazione in *b* ed in *d*, operata dal prisma, ch' è un mezzo di densità uniforme, sarà la stessa. I raggi del cono partono da distanza infinita, e perciò sono a considerarsi come paralleli. Facciasi astrazione del deviamento impercettibile che i raggi abbiano potuto soffrire nell' attraversare il prisma. I raggi alla emergenza conserveranno lo stesso parallelismo che avevano nella incidenza : dunque lo spettro non sarà maggiore della base del cono. La base del cono è circolare. Dunque lo spettro esser dovrà circolare. Ma lo spettro si presenta non di figura circolare, e più largo : dunque i raggi *a b*, *a d* saranno diversamente rifrangibili, e lo stesso dei raggi fra loro intermedii. Questa circostanza i raggi del cono allontanerà necessariamente fra loro, e l'allungamento della figura apparente del sole, senza alterazione della sua grandezza, avverrà nel modo seguente.

Data la diversa rifrangibilità dei raggi, supponete i più rifrangibili essere soli. Questi sul muro

che li riceve ad una certa altezza presenteranno una immagine circolare. Supponete poscia i meno rifrangibili essere anche soli. Questi un' altra immagine circolare presenterebbero sottoposta alla prima. Fra i due cerchi luminosi supponete una quantità di altri cerchi luminosi proiettati sul muro da' raggi di rifrangibilità intermedie fra le due prime. I centri di tutt' i cerchi, compresi i due primi, saranno in una stessa linea verticale, e la loro serie vi offrirà una immagine allungata le cui sole estremità sembreranno circolari (*fig.* 21).

59. Avete veduto ognuno di quei cerchi luminosi essere di raggi paralleli, e la rifrazione non produrre nel prisma deviamento sensibile di raggi. Comprendete il complesso de' cerchi, comunque disposto, essere la intera base del cono riflettuto sul muro, e la serie dei cerchi, ovvero lo spettro, essere una decomposizione di quel complesso. Ciò valga a dimostrarvi che lo spettro *a*, (*fig.* 22) quantunque allungato, non è che la espressione della grandezza apparente *b* del sole dal cono luminoso, senza il frammezzamento del prisma *c*, dipinta sul muro; e che i raggi di varia rifrangibilità uniti nel sole, e quindi ne' coni che da questo emanano, sono dal prisma separati, fenomeno denominato decomposizione della luce, e dispersione della luce ancora. Conseguenze

58. I raggi uscenti dal prisma riceva una delle facce di un secondo prisma che l' asse abbia in situazion verticale, e che sia in modo situato da produrre uguaglianza tra la rifrazione dei raggi incidenti e la rifrazione dei raggi emergenti. I raggi di Moltiplicamento di rifrazioni per mezzo di più prismi

ogni cerchio (§. 56), come che tutti ugualmente rifrangibili, usciranno dal secondo prisma con lo stess' ordine col quale erano entrati. Solo la rifrazione spingeralli di lato, ciò che al cerchio per loro fatto darà situazione alquanto a diritta o a sinistra della situazione precedente. Supponiamo tal deviamento avvenga da diritta a sinistra. Ecco una serie di cerchi così proiettata, e nella obbliqua sua direzione ordinata nel senso delle rispettive rifrangibilità. Supponiamo sul muro una linea verticale che passi pe' centri de' circoli dello spettro precedente. Del nuovo spettro il cerchio che soffrirà minore allontanamento dalla linea verticale sarà quello che proiettano i raggi meno rifrangibili; il più allontanato sarà quello che proiettano i raggi più rifrangibili; ed i cerchi intermedii saranno più o meno allontanati in ragione della rispettiva rifrangibilità. E perchè, supposta un' altra retta che passi pe' centri di questo spettro obbliquo, si troveranno i due spettri chiusi fra le stesse linee orizzontali, uopo sarà conchiudere che nello spettro obbliquo la lunghezza della immagine sia aumentata. Allungamento sì fatto è una ripetizione proporzionale dell' allungamento dello spettro di cui ho ragionato nel §. 56: la causa è la stessa.

Dietro il secondo prisma il Newton, per moltiplicare le rifrazioni laterali, ne situò un terzo, e quindi un quarto. Il risultamento fu sempre lo stesso: l' immagine nella larghezza non ricevè accrescimento sensibile.

Quando lo spettro solare è imperfetto

59. È d' uopo sappiate che lo spettro solare non presenta sempre i sette colori. Ciò dipende

dall' ostacolo che nell' attraversare l' atmosfera può ricevere dallo stato di questa, per le sostanze eterogenee delle quali si trova impregnata e che ne scemano la limpidezza. D'ordinario quando fa buon tempo, allorchè molto bianco veggono gli occhi nostri il disco solare, lo spettro ci si offre nel modo il più completo. Il mattino e la sera e nei giorni umidi, quando il sole gialleggia, lo spettro manca di alcuni colori. In queste circostanze il fenomeno è imperfetto, perchè i raggi più rifrangibili sono allontanati dalla loro direzione nell' alto dell' atmosfera, e quindi quelli che attraversano il prisma sono solamente i raggi che, essendo men rifrangibili, si allontanano meno dalla loro direzione. La facile riflessibilità dei raggi violetti indaco e turchini serve ad ispiegare il colore azzurro del cielo. Un' impasto di que' tre colori dà il colore azzurro.

CAPO VI.

Continuazione

60. Nella espressione *colore di un raggio* non s' intende altro che la disposizione del raggio a produrre in noi una delle sensazioni che comprendiamo sotto la voce generale colori.

I raggi della luce non sono realmente colorati

I raggi non sono realmente colorati. Solamente la esperienza ci manifesta in un cono di luce che viene direttamente dal sole esistere certa quantità di raggi omogenei propia a produrre in noi la impressione del violetto e che noi diciamo raggi violetti, un' altra quantità di raggi omogenei propia

a produrre in noi la impressione del colore indaco e che noi diciamo raggi indaco, un' altra quantità di raggi omogenei propia a produrre in noi la impressione del turchino e che noi diciamo raggi turchini, un' altra quantità di raggi omogenei propia a produrre in noi l' impressione del verde e che noi diciamo raggi verdi, un' altra quantità di raggi omogenei propia a produrre in noi la impressione del giallo e che noi chiamiamo raggi gialli, un' altra quantità di raggi omogenei propia a produrre in noi la impressione del colore arancio e che noi diciamo raggi colore arancio, un' altra quantità di raggi omogenei propia a produrre in noi la impressione del rosso e che noi diciamo raggi rossi; che questi diversi raggi diversi gradi hanno di rifragibilità; che il violetto è il più rifrangibile, il meno rifrangibile il rosso; che i raggi più luminosi sono quelli del mezzo dello spettro.

Riduzione dei colori dello spettro alla loro maggior semplicità

61. La rifrazione diminuisce per differenze impercettibili dal violetto fino al rosso. Così il cono di luce che attraversa il prisma si scioglie quivi in una infinità di coni gli assi dei quali fanno tra loro angoli picciolissimi, e le basi di quelli per conseguenza copronsi in gran parte nella immagine colorata risultante dalla loro unione. Qui sentite la ragione per la quale delle fasce colorate che il Newton ottenne dal prisma niuna era precisamente terminata, ma le une alle altre con insensibile passaggio si succedevano (§. 54).

Il colore dei raggi varia anche per gradazioni da un cono all' altro in modo che tali gradazioni

in ciascun colore possono considerarsi corrispondere alle specie principali dei colori.

D' altronde, a concepire meno difficilmente i fatti relativi ai colori, noi d' ordinario, senza tener conto di queste gradazioni, supporremo la luce decomporsi in sette colori ben distinti che fra loro con passaggio improvviso si succedono.

Gradazioni di rifrazione. Rapporti fra le gradazioni di un colore e le sette specie di colori principali

62. Pel mescuglio di tutte queste gradazioni l' immagine colorata prodotta dalla rifrazione si rende oltremodò composta. Or, se con qualche mezzo potrassi notabilmente diminuire il diametro dei cerchi, il mescuglio per conseguenza necessaria sarà meno sensibile. In fatti supponete molti cerchi intersecarsi fra loro e che, mentre non cambino le situazioni dei centri, si restringano le loro circonferenze: queste si andranno sciogliendo le une dalle altre, e giugnerà un termine nel quale saranno solo in contatto. Continuiamo a seguire gli esperimenti del gran Newton. Facciasi un foro alla imposta di una finestra di camera oscura, ed in distanza di quattro metri da questa apertura si metta un vetro di forma lenticolare, ovvero convesso da ambedue le parti. Al di là del vetro situate una carta bianca lontana a sufficienza perchè la luce rifratta dal vetro possa dipingere nettamente su di quella la immagine dell' apertura fatta alla finestra. L' effetto del vetro lenticolare sarà di contrarre tale immagine. Poscia dietro la lente, a breve distanza, mettasi un prisma che l' immagine colorata del sole ovvero lo spettro proietti lateralmente, o da' basso in alto. Allora i diversi cerchi componenti la immagine, essendo molto diminuiti di grandezza, si sciol-

gono gli uni dagli altri. Il Newton con questo mezzo giunse a rendere lo spettro settantadue volte più lungo che largo in modo che ciascun colore di esso poteva considerarsi semplice ed omogeneo. Ed in vero i colori ridotti in tale stato non possono sensibilmente essere più cambiati nè dalla rifrazione, nè dalla riflessione.

Per l'anzidetto conchiuderemo che ciascuno dei colori dello spettro solare è a considerarsi omogeneo.

Relazioni fra la luce ed il suono

63. Il Newton, assistito da un amico diligente e nel distinguere i colori esercitato, scoprì le diverse rifrangibilità essere fra loro nel rapporto dei numeri che rappresentano gl' intervalli dei suoni *do*, *re*, *mi bemolle*, *fa*, *sol*, *la*, *si do*; cioè che la divisione della linea sulla quale egli e l' amico suo avevano segnati e distinti i colori dello spettro sarebbe stata uguale a quella di un sonometro i cui diversi compartimenti, o diverse lunghezze, dessero i sette tuoni nel modo minore. (*Lib. IV Cap. X*). Quindi considererete i colori come il prodotto di varie vibrazioni della luce dalle varie nature dei corpi colorati disposte a promuovere le sensazioni dei coloramenti. Quindi è che il pittore si vale dall' espressioni, *armonia dei colori*, *tuoni dei colori*.

Della colorazione

64. Della luce che cade sopra un corpo quando tutt' i raggi sono riflettuti il corpo si offre bianco: il bianco, rigorosamente parlando, è composto dalla unione dei colori. Quando il corpo ne respinge parte, e parte ne assorbe, allora si produce la impressione particolare di un colore, p. e. riflettendo i raggi rossi ed assorbendo gli altri diviene rosso; riflettendo i raggi verdi ed assorbendo

gli altri diviene verde. Quando il corpo assorbe tutta la luce che riceve diviene oscuro, nero: il nero propiamente esprime la mancanza dei colori. Quando la luce attraversa il corpo allora ne constituisce la trasparenza.

65. Ogni corpo può riflettere tutt'i colori. Esempii. Esponete alla luce rossa dello spettro il cinabro, l'orpimento, lo smeraldo, una viola: questi diversi corpi vi sembreranno rossi. Passateli nella luce turchina dello spettro, tutti vi sembreranno turchini. Passateli nella luce verde, tutti vi sembreranno verdi. La sola differenza a notare è che ciascuno di essi brillerà con maggior vivezza quando il colore nel quale è immerso sarà suo propio, cioè quello che il corpo presenta fuori dello spettro. Quindi ogni corpo, sebbene atto alla riflessione di tutt'i colori, pure uno ne riflette più copiosamente degli altri, ciò che questo colore rende in lui predominante.

Ogni corpo è propio alla riflessione di tutt' i colori, ma fra le riflessioni di questi una è in lui predominante

66. A fare esperienze parziali sopra ciascun colore si adopera un cartone tinto di nero cui siesi fatta una picciola e strettissima fenditura orizzontale. Si mette questo a certa distanza dal prisma, e così si fa passare per la fenditura la tale o tal altra porzion dello spettro. Nel modo medesimo si possono eziandio far passare più raggi, per essere riuniti da un vetro convesso. Tale unione produce colori composti sebbene simili ad altri colori dello spettro. Esempii: i raggi giallo e rosso formeranno l'arancio, il giallo ed il turchino formeranno il verde, ec. Quindi conchiuderete che riunendosi una

Colori complementarii

porzione dei colori dello spettro si otterrà un colore misto. Comprenderete lo stesso dell' altra porzione di raggi, diciam così, residuale: ed ecco un secondo colore misto. Questi colori riuniti da un vetro convesso da amendue i lati produrranno la luce bianca, e si dicono colori complementarii.

La opinione che i colori primitivi sieno meno di sette smentita dal fatto

67. Nello spettro il colore arancio si trova situato fra il giallo ed il rosso, ed il verde trovasi fra il turchino ed il giallo. È noto che mischiandosi artificialmente il giallo con il rosso si ottiene il colore arancio, e che mischiandosi il giallo con il turchino si avrà il colore verde. Nel §. precedente avete anche veduto co' raggi gialli e rossi dello spettro ottenersi il colore arancio, e co' gialli e turchini ottenersi il verde. Queste osservazioni avevano dato luogo alla opinione che i colori arancio e verde prodotti dalla rifrazion della luce a traverso il prisma dipendessero costantemente dal mescuglio di due colori vicini, e quindi dovessero sopprimersi dall' ordine dei colori omogenei. La opinione però sembra smentita dal fatto. Isolati i raggi verdi dello spettro, intercettandosi gli altri colori, e facendoli passare successivamente per due, tre, e quattro prismi, essi conserveranno costantemente il colore verde. Che se, intercettando i raggi verdi rossi e violetti, a fine che rimangano soli il giallo ed il turchino mischiati insieme, col mezzo additato nel §. 62 otterrete il colore verde, basterà far passare questo colore a traverso un altro prisma per vederlo tosto disciolto ne' suoi colori componenti, così che il turchino ed il verde si di-

pingeranno separatamente sopra una carta situata in là del secondo prisma.

(1)

68. I colori accennati sono i colori primarii. I colori secondarii risultano dalle mescele dei colori primarii, non sono composti di raggi omogenei. Colori secondarii

CAPO VII.

Dell' arco baleno

69. L' arco baleno, o iride, è conosciuto come uno de' più belli fenomeni che forma la natura. La teoria della decomposizione della luce unita a quella delle rifrazioni e delle riflessioni della stessa ne danno una spiegazione compiuta. Il fenomeno avviene allorchè una nuvola opposta al sole si scioglie in pioggia. D' ordinario forma due archi: uno interno i colori del quale sono vivi, l' altro esterno che ha i colori pallidi. Amendue gli archi hanno la stessa successione di colori che produce l' azione del prisma, cioè il rosso, l'arancio, il giallo, il verde, il turchino, l' indaco, il violetto; ma nell' arco interno il rosso è il più elevato, e nell' arco esterno il più elevato è il violetto. Introduzione

70. Immaginate (*fig.* 23) un gran cerchio *a b c d* risultante da sezione fatta ad un corpo diafano di maggior densità che l' aria. Supponete un fascio di raggi incidenti omogenei *e a* nella direzio- Raggi efficaci nel caso di due rifrazioni ed una riflessione

(1) In una nota al Cap. XV leggerete le importanti osservazioni di Plateau.

ne *a b*, e che si elevi parallelo a se stesso verso *c*. Questo fascio, rifratto al punto d' incidenza *a*, divideransi in due parti, delle quali una, rifrangendosi di nuovo, ripasserà nell' aria, l' altra rifletterà nel concavo del cerchio secondo la direzione *b f* in modo che l' arco *b d f* sarà uguale all' arco *b c a*. Questa seconda parte, al ritornare nell'aria, si rifrangerà nella direzione *f g* che con la perpendicolare in *f* farà un angolo uguale all'angolo d' incidenza del fascio *e a*. Prolungate le linee *e a* e *g f* fino ad incontrarsi in *h*. L' angolo *e h g* sarà quello che la parte incidente del fascio ovvero il raggio incidente fa con la parte emergente, cioè col raggio emergente. Vedrete che, durante il moto del raggio incidente verso *c*, l' angolo *e h g* aumenta fino ad un certo segno e, che, passato questo, decresce.

In fatti l' angolo d' incidenza crescendo continuamente a misura che *e a* si eleva, se si prenderanno due raggi incidenti come *ik*, *lm*, *kn*, che esprime il primo dopo ch' è stato rotto, s' inclinerà verso *m o*, ch' esprime il secondo nella medesima circostanza. Ora finchè la parte del cerchio dà *a* verso *c*, che incontrano i raggi incidenti, è poco inclinata sul diametro *x y*, il raggio *k n* è tutto sopra il raggio *m o*; ma, a misura che l' arco *m k* diviene più obbliquo, il raggio *k n* s' inclina verso *m o* al segno che vi sarà un termine in cui le estremità dei raggi si confonderanno in un punto comune (*fig.* 24). Se l' obbliquità dell' angolo aumenterà oltre a questo termine, i raggi rotti s' incrocieranno (*fig.* 25). Quindi è che l' arco *m k* (*fig.* 23) aumenta fino al

termine in cui i punti *n o*. divengono contigui, e dopo questo termine diminuisce. Qui è ad avvertire l'angolo che *k n* fa sopra *m o* rappresentar l'angolo *a h g*, e questo essere in proporzione di 2 ad 1 con l'arco *m k*. Dunque l'angolo che *k n* fa sopra *m o* aumenta fino ad un certo termine, e dopo diminuisce.

Risulta dall' anzidetto che, nella vicinanza del punto *a* (*fig.* 23), la densità tanto della luce rifratta, che della luce riflessa dalla concavità del cerchio è maggiore che in ogni altro luogo : e quindi che i raggi emergenti come *b e*, provenuti da questa medesima luce, in un picciolo spazio saranno più abbondanti.

Tutti questi raggi emergenti sono paralleli fra loro : esempio *b c* (*fig.* 24). Dunque, se cadono contemporaneamente molti raggi sopra tutt' i punti del quarto di cerchio *e f* (*fig.* 24) e vi ha uno spettatore il cui occhio sia situato in *d*, preso sopra una linea che passi fra *b c*, quest' occhio riceverà più raggi in tale situazione che in qualunque altro luogo, tanto perchè quelli sotto la direzione dei quali ei si trova sono molto accumulati, quanto perchè, essendo paralleli, entreranno nella pupilla in maggior numero che se fossero convergenti.

I raggi che in questo modo si accumulano chiamerete raggi efficaci. Potrete assimilarli a quelli che uno specchio concavo, o una lente, riunisce in un punto in cui l' attività di tutti loro si concentra.

71. I raggi che si riflettono da *b* in *f* (*fig.*23) non ritornano tutti nell' aria. Una porzione di essi è nuovamente riflettuta dalla concavità del cerchio : Raggi efficaci nel caso di due rifrazioni e due riflessioni

così che un fascio di luce introdotto per *a* soffre più riflessioni, in ciascuna delle quali un certo numero di raggi ritorna nell'aria circostante. Osserviamo l'effetto di due riflessioni.

Sia *a b* (*fig.* 26) un fascio di luce omogenea la cui direzione coincida con *b.c*. Ascenda questo fascio parallelamente a se stesso verso *e*. Supponiamo che in ciascuna delle sue situazioni, come *f g*, una porzione dei raggi rotti *g h*, dopo essere riflettuta da *h* in *i* ed in *k*, ritorni nell'aria secondo la direzione *k l*, che al punto *m* interseca il raggio incidente *f g*. Vedete l'angolo *f m l* decrescere sino ad un certo termine, e passato questo aumentare. Il fatto presenta una variazione inversa della variazione pocanzi spiegata.

Ed in vero, mentre il raggio incidente ascende, l'arco *h n* da principio si diminuisce, indi aumenta, perchè l'angolo d'incidenza, divenendo più grande a misura che il raggio si eleva, se prenderete due di raggi sì fatti come *f g*, *o p* troverete che la porzione rotta *p q*, la quale appartiene al raggio incidente *o p*, debba inclinare più verso *g h* ch' è la porzione rotta di *f g*: così che ad un certo termine il punto *q* confonderassi col punto *h*, e quindi i due raggi s' intersecheranno. Qui è a considerare che in tutte le situazioni anteriori a questo intersecamento l'arco *k n*, ch' esprime la grandezza dell' angolo risultante dall' intersecamento dei raggi incidente ed emergente, si diminuisce. A persuadervene notate che *g h*, *h i*, *i k* esprimenti il raggio *f g* dopo che è entrato nel cerchio, essendo uguali, la linea *r* che taglia in due l'angolo *g m k*

passa per la metà *s* della porzione *h i* che è risultata dalla prima riflessione. Esaminato ciò, se considererete l'altro raggio incidente *o p*, vi sarà facile giudicare che *p q* sia più piccolo di *g h*, e quindi che la porzione riflessa *q t* sia più breve che la porzione analoga *h i*. Ora, per tal differenza e per la situazion rispettiva dei due raggi, la metà *s'* della porzione *q t* troverassi più elevata che la metà *s* della porzione *h i* : d'onde risulta che il diametro, *r s x n*, il quale, essendo prolungato, dividerebbe in due l'angolo formato dalla parte incidente *o p* con la parte emergente, ha la sua estremità fra i punti *n b*. Dunque l'arco *n b* ha sofferta una diminuzione.

Se supporremo (*fig.* 27) che il raggio incidente, elevatosi oltre la situazione *o p*, la parte *p q'* giunga a tagliare la parte analoga *g h*, vedremo che *q t* troverassi totalmente in là di *h i*, e parallelo a questo. Contemporaneamente l'angolo *f m l* continuerà lentamente a decrescere, ed allorchè *q t* sarà divenuto parallelo ad *h i* i punti *s s'* saranno in un medesimo diametro e l'angolo *f m l* sarà giunto alla maggior sua picciolezza possibile, ovvero al minimo della sua grandezza. In fatti, se il raggio incidente ascenderà di più, l'arco si troverà ingrandito : poichè *p q*, abbassandosi sempre maggiormente sotto *g h* con la sua parte situata verso *q*, la parte *q t* convergerà con *h i*, ed il punto comincerà a scendere sotto *s*, d'onde siegue che il diametro *r x n* avrà la estremità sua *n'* situata sotto il punto *n*, e quindi che l'arco *k n* riceverà ingrandimento.

72. Nel caso del minimo della grandezza, in cui il raggio *q t* è divenuto parallelo al raggio *k i*, il raggio emergente *u v* è parimente parallelo al raggio *k l*.

Cominciando ora le applicazioni al fenomeno dell'arco baleno uopo è supporre che (*fig.* 27) *k l*, ed *u v* facciano l'ufficio di raggi incidenti, e che *f g*, o *p* sieno i raggi emergenti che a quelli corrispondono: ed atteso quello che si è detto dei raggi i quali soffrono una sola riflessione conchiuderemo un occhio situato nella direzione *l k*, *u v* ricever debba maggior quantità di raggi che in qualunque altra situazione.

Valore degli angoli che determinano gli effetti dei raggi efficaci

73. Ricordate che ogni cerchio, qualunque sia la sua grandezza, si divide in trecento sessanta gradi ed ogni grado in sessanta minuti.

Supponiamo il passaggio della luce incidente avvenga dall'aria nell'acqua. In questo caso la maggior grandezza ovvero il massimo dell'angolo *a h g* (*fig.* 23) pe' raggi rossi, i quali sono i meno rifrangibili, sarà di g. 11, m. 2, pe' raggi violetti, che sono i più rifrangibili, sarà di g. 40, m. 17. Nel medesimo caso l'arco *m a* misura dell'angolo d'incidenza di *l m* (a cagione del parallelismo fra *l m* ed il diametro *a b*), pe' raggi rossi è di 59, 24, pe' violetti è di 58, 41.

D'altronde il minimo dell'angolo *o m v* (*fig.* 27) supposto di raggi rossi è di 50, 57; di raggi violetti 54, 7: ed in questi casi l'angolo d'incidenza del raggio *v u* è di 71, 50 pe' raggi rossi, di 71, 26 pe' raggi violetti.

Applicazione

74. L'occhio dello spettatore (*fig.* 28) sia in

O. Quattro globetti di acqua *d f*, *a c*, *k r*, *g l* abbiano la loro situazione in modo che i raggi solari *Sd*, *Sa*, *Sr*, *Sl*, dopo due rifrazioni ed una riflessione ne' globetti inferiori, o due rifrazioni e due riflessioni ne' globetti superiori, facciano co' raggi emergenti angoli ugnali a quelli or citati, cioè *OxS* di 46, 17; *OzS* di 42, 2; *OyS* di 50, 57; *OuS* di 54, 7. Qui si suppone i raggi partano dal centro del sole, e che sieno paralleli fra loro.

de' principii precedenti ai fenomeni dell' arco baleno

Dietro l' anzidetto (§. 72) *OzS*, angolo di g. 42, m. 2, essendo quello che fanno tra loro i raggi rossi incidenti ed emergenti, nel caso del massimo condensamento de' raggi, l' occhio vedrà il rosso più vivo nel globetto *a c* ed in tutti gli altri globetti situati nella direzione *O c*.

Nello stesso tempo l' angolo *OxS*, ch' esprime i raggi violetti efficaci, presenterà all' osservatore il violetto più intenso nel globetto *d f* ed in tutti quelli che saranno nella direzione *O f*. Inoltre l'osservatore vedrà solo il rosso nei primi globetti ed il violetto nei secondi, perchè i raggi colore arancio, la rifrazione dei quali è maggiore di quella dei raggi rossi, ad essere efficaci, debbono rifrangersi in modo che l' angolo formato dagl' incidenti con gli emergenti sia minore di 42, 2, e maggiore che 40, 17 1 esempio da proporzionarsi agli altri raggi intermedii. E perchè l'angolo dei raggi intermedii di cui è qui discorso è il più grande fra tutti quelli che far possono tali raggi, esso non può aver luogo relativamente al globetto *a c*, o al globetto *d f*; ma esisterà bensì in alcuno dei globetti intermedii. Da ciò risulta che, tanto i colori fra il ros-

so ed il violetto, quanto le gradazioni di questi colori saranno successivamente veduti nei globetti situati fra $a\ c$, $d\ f$ secondo l'ordine prescritto dai diversi gradi di loro rifrangibilità; cioè che la successione di tutt' i colori, discendendo, sarà la seguente: rosso, arancio, giallo, verde, turchino, indaco, violetto. Il violetto, essendo mischiato con il colore bianchiccio delle gradazioni adiacenti, si troverà indebolito da questo mescuglio, e tenderà verso il color di porpora.

75. Sia ora OP una retta parallela ai raggi del sole, che asse denominiamo della visione. Immaginate i raggi Ox Oz e tutti gli altri che appartengono ai globetti intermedii, rimanendo fissi per mezzo del loro punto comune in O, girino intorno di OP, continuando a fare lo stesso angolo con questa linea: tali raggi vedrete formare una fascia curvilinea $CDfEGa$ che terminerà sull'orizzonte, e tutt' i globetti situati nei confini di questa fascia, del pari di quelli che trovansi sulle superficie descritte dal movimento dei raggi Ox Oz, faranno vedere all' occhio dei colori disposti circolarmente sopra tutta la superficie $CDfEGa$ nell'ordine stesso che quello dei colori compresi da a in f. Ecco come si forma l' arco interno.

76. Applicate il ragionamento stesso all' arco esterno. Comprenderete che l' angolo OnS di gr. 54, 7, essendo quello che fanno tra loro i raggi violetti incidenti ed emergenti i quali agiscono il più efficacemente, l'osservatore vedrà il violetto cupo nel globetto $g\ l$. Inoltre l' angolo OyS di 50, 57 fa la stessa funzione relativamente ai raggi rossi,

e l' osservatore vedrà il rosso il più vivo nel globulo *k r*. Gli altri colori vedrete successivamente con le loro gradazioni nei globetti intermedii, del pari che il violetto ed il rosso, estesi sulla superficie di una fascia curvilina *ABmHNg*, che formerà l' arco esteriore. Tutti questi colori, come abbiamo accennato da principio, si offriranno in un ordine rovesciato relativamente a quelli dell' arco interno, in modo che, andando da alto in basso, la successione loro sarà violetto, indaco, turchino, verde, giallo, arancio, rosso. Questi colori saranno d' altronde molto più deboli per la seguente ragione. I raggi che li producono soffrono due riflessioni, in ciascuna delle quali vi ha sempre una parte di raggi che ritorna nell' aria.

77. I raggi entrati in ogni goccia di pioggia sapete esser suggetti a continue riflessioni. Per queste essi descrivono una specie di poligono che ripiegasi sopra se stesso: sebbene, ad ogni contatto di raggio con la concavità del globetto, una porzione di quello sfugge alla riflessione e ritorna nell' aria. Quindi è che il numero dei raggi che continuano a riflettersi da un punto all'altro di tal concavità diminuiscesi continuamente.

Circostanza in cui si vegono più di due archi baleni

Supponete ora dei raggi incidenti la cui situazione, relativa all' arco che incontrano, sia tale che, dopo tre riflessioni, quelli di un colore determinato che ritorneranno nell' aria, essendo nel caso dei raggi efficaci, diriggansi verso l' occhio. In questo modo si formerà un terzo arco baleno più elevato che il secondo: però i colori saranno talmente indeboliti per le perdite da loro sofferte in ciascuna

delle tre riflessioni, ch' egli è raro questo terzo arco possa esser distinto, a meno il cielo non sia molto oscuro nella parte situata di rimpetto allo spettatore, ed il sole non illumini fortemente la parte opposta. Così può immaginarsi la possibilità della formazione di un quarto arco, di un quinto, ec.

Talora sotto del primo arco baleno se ne vedono alcuni che di rado offrono tutt' i colori propii del fenomeno. D' ordinario uno o due se ne possono notare. Secondo il Pemberton tali archi secondarii sono prodotti da' raggi che si disperdono, sebbene allontanandosi molto poco da quelli che producono l' iride ordinaria, ed in modo che l' occhio si ritrovi sotto la loro direzione.

Dei colori provenienti da' questi raggi quelli che non si veggono sono nella parte violetta del primo arco. Quelli che si osservano distintamente sono nella parte inferiore.

Istoria della spiegazione del fenomeno

78. Alberto magno, il primo che abbia cercato spiegare il fenomeno dell'arco baleno, credè i colori di questo venissero da una ruggiada che si frammette a noi ed alla nuvola, e che tai colori, ricevuti sulla nuvola, a noi quella tramandasse.

Ma ad Antonio de Dominis, arcivescovo di Spalatro, sono dovuti i veri primi tentativi per dare una ragione della cosa. Egli in un luogo esposto al sole sospendeva una palla di vetro piena d'acqua, e faceva questa discendere in un modo che gli angoli formati dai raggi incidenti variassero da gr. 42 sino a circa 51. Così i colori dei due archi si presentavano nella palla secondo l' ordine col quale nei globetti si offrono della pioggia. La sco-

perta di questo uomo celebre è tanto più a tenersi in pregio, quanto più si riflette che a' tempi di lui il fenomeno della visione non era ben penetrato. Le osservazioni del de Dominis Cartesio, senza citare chi lo precedette in quelle, riformò ed arricchì di precisione. Il Newton la spiegazione del fenomeno perfezionò.

79. L' iride può imitarsi dirigendo de' getti d' acqua in modo che si spandano per l'aria, mentre si sta con le spalle al sole; sovente la cima di un getto d' acqua presenta i colori della iride; sovente l' iride si offre ancora sull' erba di un prato coperto di ruggiada.

CAPO VIII.

Anelli colorati del Newton

80. Il Newton prese due vetri di cannocchiale, uno piano-convesso, uno convesso, ma poco, da amendue i lati. Una delle superficie del secondo situò sulla superficie piana del primo. Tra queste due superficie dovette naturalmente restare uno strato di aria. Compresse indi i due vetri uno verso l' altro, ed a grado a grado accrebbe la pressione sino ad un certo termine. Per conseguente lo strato di aria testè accennato, ch' era aderente alle due superficie, si assottigliò. Effetto di tal pressione progressiva fu nello strato o lamina di aria contenuto fra' due vetri, guardato per riflessione, (cioè non a traverso la trasparenza) l' apparimento di diversi anelli colorati, che il punto del con- Anelli colorati veduti per rifrazione

tatto avevano per centro comune, ed il numero dei quali, andando verso le estremità dei vetri, aumentava a misura che aumentava la pressione di questi. Nel punto di contatto, ovvero centro comune degli anelli, si presentava una macchia nera (*fig.* 29). Ogni anello era composto di una serie di colori. Le serie, giunta la pressione al dato termine, erano sei. Esse, a partire della macchia nera, tenevano l'ordine seguente: 1 turchino, bianco, giallo, rosso; 2 violetto, turchino, verde, giallo, rosso; 3, porpora, turchino, verde, giallo, rosso; 4, verde, rosso; 5, turchino-verdastro, rosso; 6, turchino, verdastro rosso pallido; 7, turchino-verdastro, bianco-rossiccio. In là di queste serie il colore ritornava al bianco. È ad avvertire che esse indebolivansi in ragione che dalla macchia nera si allontanavano. Il fenomeno dal Newton fu prima osservato con due prismi di picciolo angolo, piani al contatto, convessi alquanto negli altri lati.

81. Passò quindi il filosofo alla misura dei diametri degli anelli, prendendola nella parte più splendente delle rispettive orbite. Questa per il 1.° anello (il più interno) ovvero per la prima serie, era presso a poco su' confini del bianco e del giallo, pel 2.° fra il giallo ed il rosso, pel 3.° nel giallo, pel 4.° fra il verde ed il rosso, pel 5.° ed il 6.° fra il turchino-verdastro ed il rosso. Osservò allora che i quadrati di questi diametri erano fra loro come i termini della progressione dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, 9 . . . Conchiuse da ciò la densità dell'aria ai luoghi fra' due vetri dove ogni anello sembrava finire essere nella stessa progressione.

Con dati sì fatti bastò la cognizione della lunghezza di un solo diametro per avere le lunghezze di tutti gli altri, del pari che le densità della lamina di aria al luogo dove si presentava uno dei diversi colori.

Il Newton formò una tavola di queste densità. Videsi nella medesima che il turchino più intenso, p. è. quello della prima serie, è prodotto alla densità di lamina di aria di 24 millionesimi di pollice inglese, supposto l'occhio quasi perpendicolare sopra i due vetri.

82. Misurati i diametri degli anelli alla parte di questi più splendente, misurò il filosofo i diametri loro alla parte più oscura ed interna, che per il 1.° anello esser dovette la più prossima alla macchia nera centrale e perciò fu nel turchino, pel 2.° era nel violetto, pel 3.° nel turchino, pel 4.° nel verde, pel 5.° e 6.° al cominciamento del turchino-verdastro. Osservò allora i quadrati di tali diametri essere fra loro come la progressione dei numeri pari 2, 4, 6, 8 . . . . e quindi la densità delle lamine di aria nelle parti più oscure degli anelli seguire la stessa progressione.

83. I diametri degli anelli s' ingrandivano o si diminuivano in ragione della inclinazione del raggio visuale sulla superficie dei due vetri, e così la maggior contrazione avveniva quando l'occhio era perpendicolare sopra i vetri.

84. Il fin quì detto si riferisce alle serie o anelli cagionati per riflessione. Volgiamoci ora a quelli che dalla rifrazione sono prodotti. Guardandosi a traverso la trasparenza dei vetri la macchia centra- Anelli colorati veduti per riflessione

le è bianca, e l' ordine degli anelli, a partire da questa, osservò il filosofo essere il seguente: 1, rosso-giallastro, nero, violetto, turchino; 2, bianco, giallo, rosso, violetto, turchino; 3, verde, giallo, rosso, verde-turchiniccio; 4, rosso, verde-turchiniccio; 5 e 6, gli stessi colori che nel n.° 4. Il rosso-giallastro (1.° anello) fra la macchia centrale bianca ed il nero era così pallido e differiva tanto poco dal bianco, ch' era difficile il discernerlo: uniformemente a ciò che presenta il primo turchino che circonda la macchia nera centrale negli anelli riflessi, il quale quasi col nero si confonde.

Comparazione fra le due specie di anelli

85. I colori che compongono le serie prodotte dalla rifrazione comparando con quelli che dipendono dalla riflessione, si osservò il bianco corrispondere al nero, il rosso al turchino, il giallo al violetto, cioè che la medesima parte che sembrava nera quando non si guardava a traverso i due vetri, diveniva bianca quando a traverso guardavasi di quelli; che la medesima parte, che nel primo senso sembrava turchina, nel secondo sembrava rossa; che la medesima parte, che nel primo senso sembrava violetta, nel secondo sembrava gialla, e così del resto. La esposizione di questo fatto si presenta nella *fig.* 30, formata dal Newton, dove in A B, A' B' avrete le superficie dei vetri, una piana, una convessa, che si tocca in C. I colori scritti sopra sono veduti con la luce riflessa, quelli notati al di sotto sono veduti con la luce rifratta.

Anelli colorati col mezzo delle lamine di acqua

86. Alle lamine di aria fra i due vetri di cannocchiale il filosofo sostituì le lamine di acqua, valendosi del metodo seguente. Dispose egli i due ve-

tri nel modo col quale aveva operato per ottenere gli anelli colorati con l' intermezzo dell' aria, e tosto che gli anelli comparvero bagnò leggermente l' estremità dei vetri senza alterar punto la loro situazione. L' acqua s' introdusse tosto fra i vetri, ed impossessandosi a poco a poco del luogo dell' aria prese necessariamente le forme dell' intervallo che andò ad occupare. Così ottenne fra i due vetri una lamina sottile di acqua. Gli anelli colorati si presentarono in questa come si erano presentati nella lamina di aria. L' ordine loro, e la disposizione de' rispettivi colori erano gli stessi. Ma le tinte di questi vedevansi più deboli; e minore vedevasi la loro estensione, cioè ciascuno dei colori determinati, riflettuto col mezzo della lamina di acqua, aveva la sua circonferenza più prossima al centro di quando esso era riflettuto dalla lamina di aria. Misurati i diametri nelle parti loro maggiormente splendenti e messi in relazione fra loro si trovò i medesimi seguire la progressione aritmetica dei numeri dispari 1, 3, 5 . . . misurati nelle parti oscure offrirono la progressione dei numeri pari 2, 4, 6 . . . come nelle lamine di aria. La differenza di estensione fra i diametri degli anelli corrispondenti era presso a poco come 7 ad 8, cioè quelli riflettuti dalla lamina di acqua erano più piccioli di quelli riflettuti dalla lamina di aria nella proporzione presso a poco di 7 ad 8: d' onde siegue il rapporto dei loro quadrati essere presso a poco quello di 49, (quadrato di 7) a 64 (quadrato di 8), e quindi le densità fra i fluidi nel luogo dove comparivano gli stessi anelli essere quasi come 3 a 4. Il Newton

è di opinione questo risultamento possa estendersi ad ogni specie di mezzo che vogliasi adoperare, e potersi dedurre come regola generale, che quando un mezzo qualunque è interposto fra due vetri, l'intervallo fra questi vetri, al luogo dove si vede un dato colore, sta all' intervallo che dà lo stesso colore per mezzo dell' aria, nel rapporto che passa tra le rifrazioni che soffrono i raggi in tale intervallo, penetrandolo sotto una stessa incidenza. Questa norma può essere applicata ad una lamina sottile distaccata da qualunque corpo, della quale si volesse determinare la densità deducendola dal grado del calore.

Osservazioni sulle lamine sottili circondate da mezzo meno rifrangente

87. Sin ora osserviamo il filosofo aver tolte di mira lamine d' aria o di acqua chiuse in due superficie di vetro, e perciò circondate da un mezzo più rifrangente che la loro rispettiva sostanza. Ma egli, con quello spirito di precisione che sempre lo accompagnava, esaminar volle i colori prodotti in circostanze contrarie, cioè sopra lamine sottili circondate da mezzo meno rifrangente che la sostanza loro. Egli si volse ai colori delle bolle che produconsi in un acqua di sapone, dilatata dall'aria che vi s' introduce, soffiando a traverso un tubo: bolle, che ad aver durata e ad essere osservate in uno stato costante e di quiete, si possono far perdere in una boccia di vetro introducendo in essa il tubo e, dopo soffiato, chiudendone l' apertura con cera molle. Osservò il filosofo che, tendendo continuamente il liquido a scorrere verso il basso della bolla, in questo punto presentavasi la maggior densità della medesima; che, da questo punto andan-

lo verso il tubo, la pellicola della bolla sempre più si assottigliava sino a picciola distanza dal punto l' onde pendeva dal tubo (1). Vide sulla bolla molti anelli concentrici orizzontali di colori vivissimi, e disposti con una regolarità perfetta, presentarsi verso la sommità della bolla, ed a misura che la densità di lei per lo scolo del liquido verso la parte inferiore diminuivasi, tali anelli progressivamente dilatarsi, offrendo al centro una macchia nera, da principio picciola, che poi corrispondentemente all' ingrandir degli anelli accrescevasi fino a che, crepando la bolla, cessava il fenomeno. L' ingrandimento degli anelli era maggiore a misura che i raggi incidenti erano più obbliqui.

88. Da questa e da altre osservazioni praticate sopra sottilissime lamine di bolle di vetro e sopra fogliette di mica ridotte alla minor densità possibile ec. conchiuse il Newton che, quando la sostanza colorata aveva una densità maggiore del mezzo circondante, il cambiamento di obbliquità nella direzione del raggio visuale cagionato dalla rifrangenza della sostanza colorante non ne cagionava alcuno che fosse sensibile nella situazion dei colori, e perciò l' ordine degli anelli, e tutte le circostanze che questi accompagnavano in tutte le specie di lamina seguire le stesse leggi.

(1) Quivi l' azion capillare del tubo determinava un nuovo accrescimento di densità. V. *Lib. III.*

CAPO IX.

Continuazione

Anelli prodotti da ogni specie di raggi in particolare

89. Nelle indicate sperienze le serie di colori differivano più o meno fra esse, sia pel numero, sia per la combinazion delle tinte. A dir vero tali sperimenti erano fatti con la luce bianca delle nuvole, che raggi contiene variamente rifrangibili, e la riflessione non si può operare ugualmente a qualunque densità di mezzo sopra tutte le specie di raggi. Con un altra esperienza giunse il Newton a separare i diversi colori omogenei, e così a fare come l' analisi del fenomeno.

90. Resa oscura la camera destinata all' esperienze, ricominciò queste sulle lamine sottili di aria contenute fra' due vetri, adoperando un prisma a traverso il quale passavano, un dopo l' altro, i diversi raggi semplici, ovvero omogenei, che proiettava lo spettro solare sopra una carta bianca. La lamina di aria contenuta fra i due vetri rifletteva come uno specchio i raggi respinti dalla carta. Ogni raggio semplice produceva anelli del suo colore, sia per riflessione, sia per rifrazione, e ne produceva molti e distinti. Il filosofo teneva allora l' occhio immobile sul colore che gli si presentava. Ma, facendo dal suo assistente girare il prisma in un senso o nell' altro intorno al propio asse, conservando l' occhio nella immobilità, vedeva comparire delle seguele di anelli concentrici diversamente colorati.

Di questi, gli anelli rossi avevano i diametri

più grandi che i violetti, il violetto era il colore che dava in generale i più piccioli anelli, ed i diametri crescevano gradatamente nell'ordine nel quale si vedevano gli altri colori, cioè il turchino, il verde, il giallo, il rosso.

91. Inoltre lo stesso colore riflettuto in alcuni luoghi della lamina di aria era trasmesso negli spazii intermedii. I quadrati dei diametri degli anelli che dipendevano dalla riflessione offrivano, come nella prima osservazione, gli stessi rapporti dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, ec. ed i quadrati dei diametri degli anelli prodotti dal colore rifratto erano fra loro come i numeri pari 2, 4, 6, 8 ec. d'onde seguiva che le densità della lamina di aria nei luoghi che riflettevano il colore ed in quelli dove avveniva la rifrazione erano rispettivamente suggette ai rapporti medesimi.

92. Le densità erano state misurate dove il colore, riflettuto o rifratto, vedevasi più brillante. Partendo da questi punti la intensità della luce si diminuiva indefinitamente da una parte e dall'altra. Ora il filosofo, avendo per iscopo l'assegnare delle larghezze ai differenti anelli, e perciò lo stabilire limiti a tali diminuzioni d'intensità, adottò la seguente ipotesi.

93. Suppongasi che, nella serie 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ec., 2 rappresenti la densità della lamina di aria al luogo dove il primo degli anelli violetti veduti per riflessione, e relativi ad una stessa situazione del prisma, è il più fortemente colorato, e questa si dica la densità media dell'anello. La densità del secondo anello sarà 6, poichè essa

Ipotesi del Newton

stà alla densità del primo come 3 ad 1 ec. Queste densità esprimenti il massimo della riflessione seguono le progressioni dei numeri dispari 1, 3, 5, . . . La densità media del primo anello violetto veduto per rifrazione sarà di 4, quella del secondo di 8, ec. Queste seguono la progressione aritmetica dei numeri pari 2, 4, 6 . . .

94. A stabilire ora le densità delle due estremità della larghezza di ogni anello, il più naturale è supporre che, per il primo degli anelli violetti veduti per riflessione, la più piccola sia rappresentata da 1, e la più grande da 3. Del pari i due numeri situati uno a sinistra e l'altro a dritta di un numero qualunque, ch' è l' espressione di una densità media, rappresenteranno le densità estreme dell' anello corrispondente, in modo che ciascuna di tali densità, relativamente estreme, sarà comune a due anelli consecutivi, veduti uno per riflessione, uno per rifrazione. Le densità relative agli anelli degli altri colori seguiranno lo stesso rapporto.

95. L' apparizione di ogni colore aveva una picciola durata corrispondente ad un dato movimento del prisma, nella quale presentavansi successivamente diverse gradazioni di quello stesso colore, fino a che un altro giugnesse ad offerire un somigliante ordine di successioni. Or (supposto il movimento del prisma intorno all' asse suo essere uniforme) de' diversi colori, altri più presto, altri più tardi dovevano giugnere all'ultimo grado di rispettiva dilatazione, cioè al più grande accrescimento del diametro dei loro anelli. La più piccola dilatazione era quella del color violetto, e la più grande quel-

la del colore rosso, ciò ch' è il contrario di quanto si osserva nello spettro solare, ove il rosso è il colore maggiormente contratto, ed il violetto il colore maggiormente dilatato. Il filosofo, misurate le densità delle lamine di aria ai luoghi che presentavano i limiti dei sette colori relativi ad una stessa serie, e prese esse con il seguente ordine, cioè rosso, giallo, arancio, verde, turchino, indaco, violetto, trovò quelle essere fra loro nelle seguenti proposizioni numeriche,

Rosso	Giallo	Arancio	Verde	Turchino	Indaco	Violetto
10000	9243	8255	7634	7114	6824	6300

Questi numeri s' intende rappresentino le densità medie degli anelli formanti i limiti dei sette colori considerati in una stessa serie, cioè le densità che corrispondono ai luoghi dove la riflessione è la più viva. Il n. 6300 indica la densità media dell'anello che dà la prima gradazione di violetto, il n. 6814 indica la densità che corrisponde al luogo dove termina il violetto e dove comincia l' indaco, e così fino al n. 10000, densità media dell' anello situato al luogo dove termina il rosso.

96. Esposti i due vetri di cannocchiale alla luce del giorno, dai diversi colori che questa luce compongono formavansi gli anelli alla distanza che si vedevano nel primo esperimento: e se queste distanze fossero state tali che gli anelli dei diversi colori non avessero potuto correre gli uni sugli altri, ogni serie avrebbe ordinatamente offerti altri tanti colori distinti. Ma gli anelli avendo larghezze più

o meno notabili, ed essendo più o meno stretti fra loro nello spazio che occupavano, ne risultava confondersi, almeno in parte, in certi luoghi: ciò che specialmente avveniva nella prima serie, che racchiudeva una fascia anulare bianca prodotta dal mescuglio di tutti i colori. Nella serie seguente i colori erano in generale più distinti. Ma, passato un certo termine, le serie più vicine correvano anch' esse le une sulle altre. Quindi i colori, ora semplici o quasi semplici, ora più o meno mischiati e diversamente graduati, che presentavano successivamente le diverse serie. I raggi che si rifrangevano negl' intervalli degli anelli formati dalla riflessione dei colori isolati combinavansi in un modo analogo, così che uno stesso grado di tenuità in un dato punto della lamina d' aria era propio ed alla riflessione di un dato colore semplice o mischiato, ed alla trasmissione di altro.

97. Tutti questi colori impallidivano e si cancellavano ad una certa distanza dal centro, a cagione che i diversi raggi, mischiandosi presso a poco in proporzioni uguali, producevano solo una luce biancastra.

Altre sostanze possono presentare gli anelli colorati

98. Le lamine di un corpo solido, ridotte a certo grado di tenuità, producono il fenomeno degli anelli colorati nello stesso modo che le materie fluide. Una lamina di mica può essere assottigliata al segno di riflettere uno o più dei colori dalla lamina di aria presentati nel primo di questi esperimenti newtoniani. Ed è a notare che i colori dei quali si tratta, in quanto alla loro specie, non di-

pendono dalla natura del mezzo circostante. Essi sono costanti.

Il Newton, avendo bagnato alcune lamine tenuissime di mica, delle quali tanta era la sottigliezza che presentavano gli stessi colori osservati in una bolla di acqua di sapone, vide solo i colori divenire più deboli che quando le lamine erano circondate di aria. Quindi per il mezzo circostante solo variazione d' intensità.

99. Bisogna quì far cenno di una esperienza che sembra contraria alla opinione del Newton. Se dopo d'aver disposti i due vetri uno sopra dell'altro, e di aver esaminata la larghezza degli anelli, situansi i vetri sotto un recipiente della macchina pneumatica, e si opera in questo il vôto, gli anelli non diminuiscono nè d' intensità, nè di diametro. Lo stesso avviene quando si espongono i vetri ad un calore tale che faccia uscire il fluido a loro interposto. Si risponde che nel primo caso non si ottiene giammai un vôto perfetto, e che nel secondo caso, dove fosse possibile, lo spazio fra i due vetri è almeno occupato dal calorico. In generale qualunque sostanza, per tenue che sia, chiusa in due vetri basta per far comparire anelli di diversi colori: e forse le riflessioni o le rifrazioni dei raggi che producono questi anelli avranno luogo anche nel caso che lo spazio fra i due vetri fosse vôto assolutamente, così che quelle potrebbero dipendere dalle sole distanze fra i punti corrispondenti delle due superficie fra loro controposti. Una obiezione

100. Il Newton denomina accesso di facile riflessione le disposizioni che ha un raggio colorato Accesso di facile riflessio-

ne, accesso di facile rifrazione

ad essere riflettuto da diverse densità di una lamina di aria o da ogni altra sostanza, denomina accesso di facile rifrazione le disposizioni di un raggio ad essere variamente rifratto secondo le varie densità.

CAPO X.

Colori considerati nei corpi

Anche le particelle dei corpi detti opachi sono trasparenti

101. Le particelle dei corpi, anche di quelli che diconsi opachi, crederete trasparenti. Le estremità della pietra più opaca assottigliate, situate fra la luce e l'occhio, si veggono trasparire. Una foglia di oro da doratura, osservata col microscopio, è così sparsa di piccoli vôti che sembra una rete. Sarebbero solo ad eccettuare i metalli bianchi, che per la somma loro densità si veggono riflettere quasi tutta la luce incidente sopra di loro; ma questi osserva il Newton l'azione di un acido poter attenuare fino a renderli permeabili dalla luce.

Nei pori esistenza di fluidi

102. Ogni corpo è poroso. I pori contengono diversi fluidi sottili. Le particelle dei corpi fra le quali esistono i pori, avendo una densità determinata, respingono i raggi in un modo proporzionale, e così il corpo prende il colore od il semplice mescuglio colorante analogo al colore o al mescuglio di altri raggi riflessi, e che dal grado dipende della tenuità delle particelle.

Quale ordine di pori contenga i fluidi che valgono a rifletter la luce

103. Le particelle di cui è quistione non sono già le molecole primitive di un corpo, cioè la espressione dello stato di estrema divisibilità di un corpo. A comprendere ciò che, secondo il Newton, sieno

le particelle che riflettono la luce supponete delle molecole secondarie fra le quali esistano pori di maggior estensione che quelli i quali sono fra le molecole primarie.

Applicazione della teoria delle lamine sottili

104. Ora tali particelle che riflettono la luce nello stato ordinario di un corpo hanno una certa densità, d'onde risultano fra loro alcune separazioni di certa estensione: queste particelle sono reputate allora come isolate relativamente a quelle che le stanno vicine. I mezzi che stanno loro frammessi, cioè i fluidi sottili che ne occupano i pori e l'aria che circonda la superficie loro esteriore, fanno l'uffizio di due vetri fra i quali è contenuta la lamina di aria dello sperimento del Newton, p. e. In una lamina di mica di una densità sensibile sonovi particelle di un cert' ordine che hanno le propietà di riflettere i raggi di un bianco giallastro, e queste sono quelle che naturalmente ritrovansi fra loro a distanze sufficienti perchè la luce agisca su di esse come se fossero sole. Se dividerete questa lamina in foglie fino ad un certo grado di tenuità voi isolerete particelle di un altro ordine che rifletteranno altri colori, ciò che dimostra la osservazione.

105. Una lamina sottilissima per l'Haüy staccata da un pezzo di mica, in vece del color bianco-gialliccio naturale della pietra, presentava un bel colore turchino. Secondo il Newton la densità della lamina di aria al luogo che riflette il turchino puro, nel fenomeno degli anelli colorati, è uguale a 24 milionesimi di pollice preso sul piede inglese. Ora col principio, che come 3 a 4 la densità della lamina di mica avrebbe dovuto essere a quella della

lamina di aria al luogo che offre il turchino puro, nel rapporto che passa tra le rifrazioni sotto una stessa incidenza (§. 86), la mica non prestavasi all'esperimento che dava immediatamente la legge della sua rifrazione, e si supplì profittando di altra osservazione del Newton per la quale si sa le potenze rifrattive essere presso a poco proporzionali alle loro densità, purchè le sostanze sieno amendue infiammabili, o non infiammabili amendue.

La riflessione avviene presso la seconda superficie

106. Con questo antecedente si mette in rapporto di rifrazione un pezzo di mica ed uno di solfato di calce (unità relativa) sotto uno stesso piccolissimo angolo d'incidenza. Le due densità, determinate secondo la gravità specifica, stanno fra loro come 2,792 (la mica) a 2,252 (il solfato di calce). È già noto la densità della lamina d'aria che dà il colore turchino valere 24 milionesimi di pollice inglese (§. 81). La lamina di mica che dà lo stesso colore si troverà avere la densità di 1,511 milionesimi di pollice inglese, ovvero presso a poco 43 milionesimi di millimetro.

107. La disposizione di un raggio ad essere riflesso o rifratto da una tale particella di un corpo ha causa dalle due superficie di questa particella, poichè dipende da una distanza più grande o più piccola fra queste superficie che il raggio sia riflesso in vece di essere rifratto, o reciprocamente. Quindi se si bagna una o l'altra delle faccette di una lamina sottilissima di alcuna sostanza, come p. e. la mica, i colori s'indeboliscono subito; d'onde uopo è conchiudere che la riflessione o la rifrazione avvenga presso la seconda superficie. Se avve-

nisse presso la prima, o prima il raggio avesse penetrato nella particella, la seconda non avrebbe influenza alcuna sulla riflessione o sulla rifrazione di questo raggio. Inoltre la disposizione di cui si tratta propagasi e persiste nel raggio dalla prima superficie sino alla seconda. In altro caso, quando il raggio è giunto a questa seconda superficie, la prima non entrerebbe più nell'azione che lo determina ad essere riflettuto o rifratto.

108. Il colore di un corpo, considerate tutte le cose uguali dalla parte dei corpi corcostanti, è tanto più vivo e più puro, quanto le molecole di questo corpo sono più sottili: non altrimenti che nella lamina di aria dello sperimento del Newton le parti le più dilicate o le più vicine al centro sono quelle dove i colori si offrono con più forza e splendore. Inoltre, fra le molecole che riflettono i colori di un solo ordine, quelle che danno il rosso sono le più dense, quelle che danno il violetto sono le maggiormente sottili.

Dell'iride che osservasi in alcuni minerali

109. Sovente i minerali presentano fenomeni analoghi a quello degli anelli colorati. Esempio: l' opale. Questa varietà di agata nei raggi che riflette dal suo interno riunisce i colori del rubino, del topazio, dello smeraldo, dello zaffiro animati da un vivo particolare. La causa n' è la moltiplicità delle interne fenditure del minerale, che interrompono la continuità della materia propia e formano degl' intervalli che sono occupati da un fluido sottile, il quale è l'aria probabilmente. Le lamine di questo fluido sono nelle stesse circostanze che la lamina di aria del Newton fra i due vetri di cannoc-

chiale. Quindi è che rotta la opale, cessa il bel cangiante del suo colorito. Il fenomeno si può anche ottenere col carbonato di calce trasparente, col solfato di calce, col cristallo di rocca ec., sia che si trovino esse con crepature interne naturalmente prodotte, sia che con leggiere percussioni si operino in loro delle fenditure.

110. Per avere una idea della ragione del fenomeno uopo è riflettere che la massa del minerale cangiante è molto più densa dei fluidi che s' interpongono alle loro fenditure. Or, veduta essa senza interruzione in qualunque modo, il colore di lei non varia sensibilmente: le riflessioni dei raggi coloranti potranno considerarsi operare sull'occhio un effetto uniforme. Immaginatela però con moltiplici disordinate fenditure interne, di sottigliezza estrema, ed in queste interposte tante laminette del fluido aeriforme come avete veduto fra i due vetri. Ne risulterà una serie di complessi moltiplici, di moltiplici riflessioni, che presenteranno come succedentisi immediatamente, o come al momento di mischiarsi, diverse gradazioni di colori, ed anche diversi colori: fenomeno dipendente e dalle varie obbliquità che, per le interruzioni, riceveranno i raggi coloranti, e dal vario modo nel quale la massa interrotta riceverà il fascio di luce e sarà per rifletterne i colori. Questo cenno può darvi una ragione del cangiante che si ammira nelle penne di alcuni uccelli, e particolarmente del pavone: alla varietà naturale dei colori di questi uccelli, e che dipende principalmente dai sottilissimi filamenti capillari che nascono a lato delle prime, accresce ol-

tremodo la varietà delle situazioni in cui le penne per la mobilità loro si offrono all'occhio.

111. In alcune conchiglie e sopra tutto nella madreperla si osserva un cangiante analogo al cangiante dell'opale. Il fenomeno nella madreperla

112. Versando alcuni licori, uno sull'altro, colori si sviluppano che prima non erano in essi sensibili. L'acido nitrico versato nell'alcool in cui siesi fatta una leggiera infusione di rosa, e tale da non dargli colore, sviluppa improvvisamente il colore che avevano le rose prima della infusione. Nella unione di alcuni licori

L'acido nitrico mischiato alla tintura di tornasole cangia il turchino in rosso. Un alcali aggiunto allo sciroppo di viole rende questo di color verde. Una goccia di olio versata sopra una massa di acqua di certa estensione produce begli anelli colorati. In questi fenomeni la riunione delle molecole dei due liquidi forma molecole miste, la union delle quali è diversa da quella delle molecole componenti, e determina la riflessione del colore analoga a questa densità.

CAPO XI.

Applicazione dei corpi trasparenti

113. Le particelle dei corpi trasparenti senza colore vincono in sottigliezza la più picciola densità capace di rifletter la luce. Per conseguenza i raggi che penetrano le molecole situate alla superficie dei corpi trasparenti sono rifratti. Queste si ritrovano nello stesso caso che la lamina d'aria in- Intervalli di facile riflessione, intervalli di facile rifrazione

terposta ai vetri nello sperimento degli anelli colorati, la quale facevasi attraversare da tutti i colori senza rifletterne alcuno. I raggi, innoltrandosi nel resto della massa trasparente, trovano questa composta di molecole simili alle molecole della superficie, e quindi continuano a scorrere senza che niuno di essi sia per dette molecole riflettuto. Non per tanto i raggi conservano la loro disposizione ad essere riflettuti o rifratti in virtù degli accessi di facile riflessione o di facile rifrazione, in modo che, se con *b* una densità si esprime la quale determina la riflessione di una data specie di raggio, in caso il mezzo avesse questa sola densità, lo stesso raggio conserverebbe una tendenza ad essere riflettuto in tutti i punti de' quali le distanze dalla prima superficie sono rappresentati da 3, 5, 7, ec., e sarà disposto ad essere rifratto alle distanze di 2, 4, 6, ec. Del pari rappresentata per *b*' certa densità analoga alla riflessione di altra specie di raggi, supponendo il mezzo abbia questa densità sola, il raggio sarà disposto ad essere riflettuto o rifratto nelle distanze rappresentate, le une da 3, 5, 7, ec., le altre da 2, 4, 6 ec. Queste distanze col Newton intervalli di facile riflessione ed intervalli di facile rifrazione denominerete.

114. Amendue le tendenze non hanno effetto che quando la luce è giunta alla seconda superficie del corpo. Quivi tutta la parte della luce che, a cagione della distanza fra le due superficie o della serie degl' intervalli, trovasi in accesso di facile riflessione è riflettuta al punto dove alla seconda superficie succede il mezzo adiacente, e la parte che

trovasi in accesso di facile rifrazione rifrangesi passando nel mezzo adiacente, in modo che, se questo mezzo avesse una densità diversa la quale ad ogni accesso desse una unità di più o di meno, cambierebbe l'ufficio dei raggi, cioè quelli che nel loro accesso sarebbero stati di facile riflessione si troverebbero nell' accesso di facile rifrazione, e quelli che sarebbero stati nell' accesso di facile rifrazione si troverebbero in quello di facile riflessione.

115. Sin ora, trattando delle due specie di accessi, abbiamo considerato solo il passaggio della luce dalla prima alla seconda superficie. D' altronde la riflessione ritorna una porzione dei raggi dalla seconda alla prima superficie, ed è necessario sapere quale sarà la disposizione di questi raggi in tal ritorno, ed in quale accesso si troveranno essi alla prima superficie.

Sappiate dunque che il raggio riflettuto alla seconda superficie, nel ritorno verso la prima, soffre effetti inversi di quelli per esso sofferti nel passar dalla prima alla seconda: così che, dopo la riflessione, gli accessi di facile rifrazione succedono a quelli di facile riflessione. Ciò nel caso le due superficie fra le quali scorre la luce sieno parallele. Dove poi una sull' altra sia inclinata, fra la prima e la seconda superficie si produrranno alternative di riflessione e di rifrazione, coordinate alle varie spessezze che il raggio sarà per incontrare: e la seconda superficie, veduta per riflessione o per rifrazione, presenterà ne' diversi suoi punti alternative luminose analoghe ai diversi ordini di anelli

formati da una luce omogenea sopra lamine di aria o di acqua comprese fra' due vetri di cannocchiale.

116. Sapete che, di un fascio di luce che da un mezzo trasparente passa in un altro, parte è riflettuta al contatto dei due mezzi. Sappiate ora che altra porzione di raggi resta intercettata nel primo mezzo, dove questi raggi, urtando fra loro sulle molecole propie del mezzo, rimangono estinti. L' intercettamento si aumenta di continuo finchè dura il passaggio del fascio di luce. Risulta da ciò che la intensità della luce sopra un dato spazio, a misura che questa allontanasi dal punto raggiante, non siegue in suo rigore la ragione inversa del quadrato delle distanze; ma bensì una legge alquanto diversa. Il Bouguer nel suo *trattato di ottica* occupossi della legge di sì fatta eccezione.

CAPO XII.

Cause della opacità

117. Nei corpi detti opachi onde la opacità? Talora dalla grossezza: il vetro stesso ad una certa grossezza diviene opaco. Talora dall' essere alla superficie del corpo riflettuta tutta la luce: ciò che si osserva nei corpi bianchi. Talora per la estinzione cagionata dall' urto de' raggi fra loro sulle molecole propie del corpo in cui s' introducono; ma più che per queste cagioni, il fenomeno è prodotto dalla interposizion fra le molecole di qualche fluido di una densità inferiore alla densità di que-

ste. Esempio : fate spumeggiar l'acqua : l'interposizione dell'aria renderà l'acqua opaca, o meno trasparente almeno. Nell'inserirsi l'aria fra le molecole del liquido per mezzo dello spumeggiamento si dà luogo a tante riflessioni successive quanti sono i vôti che la continuità del liquido interrompono : perchè nei corpi, dove ad una superficie succede un mezzo di densità diversa, quivi avviene riflessione (§§. 44, 45). Tali riflessioni respingendo tutta la luce incidente, o disseminandola nell'interno del corpo, ne risulta questo divenire opaco. D'altronde ristabilite la contiguità fra le particelle interrotte dall'aria causa dello spumeggiamento, riducete la spuma in istato di acqua, ecco l'acqua ritornata alla prima trasparenza. Non diverso fenomeno ci presenta la specie di agata denominata idrofane. L'idrofane secca è opaca, o talora trasparente appena, imbevuta di acqua diviene molto trasparente. Or questa pietra abbonda di piccioli vôti, che nello stato naturale di lei sono pieni d'aria, e la poca densità di questo fluido relativamente alla densità della materia propia della pietra cagiona la riflessione di tutti o della maggior parte dei raggi ond'è penetrata, mentre l'acqua di che artificialmente empiamo que' piccioli vôti, avendo una densità più vicina alla densità della pietra, produrrà la rifrazione di molti raggi. Il Newton aggiugne gli esempii della carta o della tela unta d'olio, della tela unta di vernice. Tali addizioni rendono quei corpi più trasparenti che per lo innanzi.

CAPO XIII.

Corpi trasparenti colorati. Le propietà fisiche dei corpi hanno influenza nei fenomeni della luce

Approssimamento fra le densità causa di trasparenza

118. I corpi trasparenti colorati sono a tenersi per un mezzo termine fra i corpi limpidi ed i corpi opachi. In un corpo trasparente colorato le molecole riflettono i raggi del colore sotto del quale essi si presentano alla vista, mentre il corpo per tutta la sua estensione rifrange altri raggi d' ordinario dello stesso colore che i raggi riflettuti. Così le molecole della superficie riflettono una parte dei raggi che giungono a questa, e lasciano passare il resto; altre molecole più interne riflettono un certo numero di raggi fra quelli che sono sfuggiti alla prima riflessione, poscia rifrangono gli altri in questo modo successivamente sino alla ultima superficie, che riflette in parte i raggi che riceve, ed all' aria vicina li trasmette. A vedere accresciuta la trasparenza di un corpo uopo è situar questo fra l'occhio e la luce.

Fenomeno analogo a quello degli anelli colorati

119. Una lamina di oro sottilissima situata tra l' occhio e la luce, guardata cioè per rifrazione, sembra verde; guardata nel modo ordinario, cioè per riflessione, continua a presentare il colore giallo. Vi sono altri esempii di questo genere. Quindi ricorderete che alcuni corpi veduti per rifrazione presentano un colore diverso da quello che in loro si osserva quando sono veduti per riflessione.

120. È opinione dei filosofi chimici i colori dei corpi naturali dipendere dall' affinità che le loro rispettive molecole esercitano a preferenza sopra certa specie di raggi. Questo non sembra corrispondere alla teoria neutoniana per la quale risulta i primi non avere diretta relazione con la natura chimica dei secondi, e la loro cagione essere principalmente nella dimensione in grossezza delle molecole unita alla densità di queste, la quale è propietà fisica. D' altronde il Newton molti fenomeni prodotti dalla luce considerò dipendenti dall' azione a picciola distanza, carattere dell' azione chimica. In fatti egli disse la riflessione e la rifrazion della luce prodursi probabilmente da forze particolari del genere di quelle che si esercitano fra molecole e molecole. Egli disse la natura dei corpi influire sulla energìa della forza rifrattiva, e questa, a circostanze uguali, essere più considerevole nei corpi infiammabili, che negli altri. Opinioni

Aggiugnete dopo il Newton essersi scoperto che la quantità dell' allontanamento dei raggi che attraversano un prisma varia secondo la natura delle sostanze; che il fenomeno della doppia rifrazione osservato in alcuni corpi, del quale tratteremo fra breve, ha senza dubbio relazione con la natura dei corpi che lo presentano.

Conchiuderemo dicendo le propietà fisiche avere influenza notabilissima nei fenomeni della luce, e l' attrazione molecolare in questi prendere anche parte.

121. Il celebre Berthollet osservò che il carminio e l' indaco, attenuati con la triturazione, non

cambiano di colore, ciò che dovrebbe avvenire secondo le conseguenze neutoniane relative al coloramento dei corpi opachi. Per queste risulta che l' attenuamento, rendendo trasparenti i corpi, ne impedisce la riflessibilità, o almeno la scema, e promove un coloramento diverso. Alla obiezione si risponde che le particelle d' indaco e di carminio le quali si veggono conservare il loro colore non sono attenuate fino al limite necessario al fenomeno. Altre idee oppone il Berthollet alla teoria neutoniana, ed altre risposte si presentano in sostegno di quella. Certo è intanto che egli ammette la riflessione prodotta dalle lamine sottilissime e trasparenti dipendere dalla tenuità delle medesime; certo è non meno questo filosofo adottare pienamente le osservazioni del Newton sugli anelli colorati.

CAPO XIV.

Colori accidentali

122. Tanto dei colori prodotti dalla riflessione della luce su i corpi opachi, quanto di quelli che questa genera penetrando i corpi diafani, la maggior parte proviene dalla unione di molti colori semplici ed omogenei combinati in modo da produrre nell' occhio una impressione unica, determinata dal numero e dalle diverse specie dei raggi riflessi, o rifratti. D' altronde avviene talora che i raggi coloranti la superficie dei corpi, restando gli stessi, eccitino in noi la sensazione di un colore diverso da quello per la loro unione prodotto, in

modo p. e. che una superficie naturalmente bianca ci sembri verdastra, un altra, disposta per riflettere il colore verde, agisca sull' occhio come una superficie turchina. A questi colori che in virtù si presentano di circostanze particolari si è dato il nome di colori accidentali, perchè sieno distinti dai colori naturali co' quali i corpi si offrono all'occhio ordinariamente.

123. Guardate fissamente e lungo tempo un picciolo quadrato di carta rossa situato sopra una carta bianca. Intorno al quadrato rosso vi si presenterà una specie di bordura di verde-turchiniccio debole. In simil guisa un picciolo quadrato di carta turchina produce il rosso accidentale, il verde produce il colore purpureo, ec. Più. Se si guarda una fascia di carta bianca sopra un fondo di colore, e poscia si passa la vista sopra una carta bianca, si prova nell' occhio la sensazione presso a poco di una fascia del colore del fondo.

124. Situate tra l'occhio e la luce un pezzo di carta colorata, p. e. rossa, ed una picciola striscia di cartone bianco parallela alla superficie anteriore (cioè alla più vicina all' occhio) della carta colorata, e molto a questa vicina. La striscia di cartone bianco prenderà il colore verde-azzurro o verde-turchiniccio. Tal colore sarà poco intenso, sebbene distintissimo, specialmente se si fa andare e venire la striscia con rapidità. Se poi la striscia sarà situata sopra un campo turchino avrete in essa il colore arancio-rossastro; se sul violetto, avrete il bianco-verdastro; se sul verde, avrete il violetto-rossic-

cio, se sul giallo, il violetto-turchiniccio; se sull' arancio, il turchiniccio.

Avrete esperienze somiglianti alle anzidette se la striscia non sarà bianca, ma di un colore determinato, sebbene diverso dal fondo. Così una picciola striscia di carta verde sopra un fondo giallo vedrete turchina, una di carta violetta sopra fondo turchino vedrete rossa.

125. Il colore accidentale di questi esperimenti proviene dall' essere il color della striscia un mescuglio di molti colori, dei quali uno nello stesso tempo è quello del fondo. Il color della fascia in tale rincontro rimane come assorbito, e la unione degli altri (colori supplementarii) si presenta solamente.

Opinione di Laplace

126. Dal famoso Laplace il fenomeno dei colori accidentali si attribuisce ad una disposizione dell'occhio per cui i colori analoghi a que' del fondo, che nella luce ritrovansi ond' è colorato il corpo sovrapposto, vengono come attirati da quelli che formano la tinta predominante del fondo, da' quali l' occhio ha ricevuto una forte impressione. Allora può essere soltanto visibile il color prodotto dal complesso degli altri raggi.

127. Molti minerali hanno una propietà vicina ai fenomeni or ora accennati. Essi, veduti successivamente per riflessione e per rifrazione, presentano due colori diversi, dei quali uno è il supplementario dell' altro. Lo spato fluore (calce fluata cristallizzata) è uno degli esempii più salienti di questo fenomeno. Si trovano in Inghilterra cristalli

cubici di questo minerale nei quali il colore riflesso è il violetto-rossiccio, ed il colore rifratto è il verde : colori reciprocamente supplementarii.

CAPO XV.

Visione naturale

128. „ Di tutt' i sensi la vista è quella che all' anima somministra percezioni più pronte, più estese, più variate. La vista è la sorgente feconda dei più ricchi tesori della immaginazione, ed a lei deve principalmente l' anima le idee del bello e di quella variata unità che la rapisce „ (1). È tempo di ragionare delle impressioni che gli oggetti, per mezzo della luce, producono nell' occhio, organo della vista.

129. L' occhio concentra i raggi che, direttamente dai corpi luminosi, e riflessi dai corpi opachi, cadono sopra di lui, e le immagini di que' corpi imprime sopra una tela nervosa, dove della vista si opera la sensazione. Così avviene che da noi si distingue la quantità, il colore, e la direzion di tai raggi. Così la differenza dei colori ci fa conoscere i limiti dei corpi, sia in altezza, sia in lunghezza. Così per la diversa intensità della luce noi avvertiamo le profondità, e le disuguaglianze. Così col mezzo della direzione dei raggi giudichiamo della situazione dei corpi.

---

(1) *Bonnet*

Quali animali dotati di occhi

130. Tutti gli animali a sangue rosso hanno occhi. Ed a quelli nei quali sembra manchino sono essi coperti sotto la pelle : così nel *mus thyphulus*. Mancano gli occhi ad alcuni molluschi : così a quelli dell' ordine acefalo, come le ostriche, le telline ec. Gl' insetti non ne sono privi : solo in alcuni sono tanti picciolissimi punti i quali, senza l' indizio della esperienza, per organi della visione non potrebbero essere indicati : esempio, gli scorpioni ed i ragni.

Descrizione dell' occhio umano

131. La cavità in cui è situato l' occhio dicesi orbita dell'occhio. Essa è circondata di pareti ossee, che quell' organo difendono tanto dilicato e necessario. I nervi ottici, ovvero i nervi che producono la visione, partono divisi dal cerebro, indi unisconsi in un punto comune, indi nuovamente si separano, e ciascuno con la propia espansione forma il bulbo di uno degli occhi. Il bulbo dell' occhio è un complesso quasi sferico di tuniche, od invogli. Una *a b c d* (*fig.* 31) si è detta sclerotica per la voce greca *scleros*, che significa duro, e cornea opaca, perchè flessibile ed opaca. L' albuginea è una membrana a lei fortemente aderente che costituisce il così detto bianco dell'occhio. La sclerótica ha un foro nella parte anteriore, e quello è coperto da una membrana flessibile e trasparente *e f* che come continuazione della cornea opaca può considerarsi, e che cornea trasparente si denomina. Alla sclerotica siegue la coroide *x x*. La superficie interna della coroide è coperta di nero, che può staccarsi col mezzo di un pennello, e che serve ad evitare nell' occhio la confusione che risultar qui vi

potrebbe dalla moltiplice riflessione dei raggi. Una membrana vellutata, detta la ruischiana la copre. La coroide, colà dove la cornea trasparente si unisce alla sclerotica, si suddivide in due lamine *g h*, *i k*. Di queste lamine le esterne *g i* constituiscono un diaframma composto di due membrane, una colorata, che denominiamo iride, una nera nel mezzo della iride, detta la uvea, ovvero la pupilla, a traverso della quale entrano i raggi che nell' occhio dipingono le immagini dei corpi. L' iride è formata di fibre muscolari che, circondando la pupilla, servono a restringerla quando i raggi sono molto attivi, o a dilatarla quando la luce è dolce. Le lamine interne *h k* formano l'anello cigliare. L'anello cigliare circonda un corpo trasparente di forma lenticulare *m n*, situato di rimpetto al foro della pupilla, e che dicesi lente cristallina. Una espansione della parte midollare del nervo ottico offre una membrana bianca e sottile, che in forma di finissima rete giace sulla superficie interna della coroide: ecco la retina. La retina, *o p*, riceve la impressione dei raggi, cioè l' immagini che quelli dipingono nell'occhio. La cavità fra la cornea trasparente e la lente cristallina è dall' iride divisa in due concamerazioni fra loro per mezzo della pupilla comunicanti. Quivi è un umore detto acqueo. Tra la lente cristallina ed il fondo dell' occhio è una sostanza gelatinosa trasparente detta umor vitreó. Un sistema di muscoli è addetto a portare innanzi ed indietro l' occhio, ad ingrandirne o restringerne l'apertura, e a dargli varie situazioni onde in grado

sia di vedere distintamente gli oggetti situati a varie distanze.

Come i raggi luminosi operino nell' occhio

132. Da tutt' i punti di un oggetto che all'occhio presentasi partono raggi divergenti in ogni senso, dei quali però quelli ch' entrano per la pupilla sono molto accostanti al cammin parallelo. Sia l'oggetto di una forma allungata situato orizzontalmente : ed a semplificare il ragionamento consideriamo solo il cono luminoso che viene dal punto medio, e gli altri due che vengono dalle estremità dell'oggetto. L' asse del primo fascio o cono, che dicesi asse ottico, passando pel centro della cornea trasparente, e, cadendo perpendicolarmente sulla superficie della lente cristallina, penetra i diversi umori dell' occhio senza che sia da quelli rifratto (§. 8). Gli altri raggi del primo fascio, che obbliquamente cadono sulla cornea, sono rifratti dall'umore acqueo (§. 8), e divengono convergenti verso l' asse ottico. La lente cristallina e l' umor vitreo che le succede accrescono convergenza sì fatta in modo che il cono di raggi formato dietro della lente cristallina ha il suo vertice nel fondo dell'occhio, dove tal cono dipinge la immagine dal punto d' onde i raggi che lo compongono mossero verso l' occhio. Questo cammino dei raggi è analogo a ciò che abbiamo accennato discorrendo degli effetti della rifrazione in un mezzo terminato da superficie curve (§. 31). Gli assi degli altri due fasci, entrando per la cornea, sono rifratti del pari che i raggi onde sono accompagnati. Essi, nel passare per la pupilla s' incrociano fra loro, e dalla lente cristal-

lina, non che dall' umor vitreo, soffrono nuove rifrazioni, e compongono così due nuovi coni le cui basi giacciono sulla superficie posteriore della lente cristallina, e le cui sommità cadono sul fondo dell' occhio, dove, come i raggi del centro, anch'essi presentano le immagini dei punti che loro corrispondono sull'oggetto. Tutti i fasci luminosi mossi dagli altri punti dell' oggetto operano nello stesso modo che que' del centro e delle estremità. Così nel fondo dell'occhio formasi una immagine compiuta dell' oggetto: sebben rovesciata, a cagione che i raggi mossi dai punti laterali ai raggi del centro, nell'attraversar la pupilla, s' incrociano fra loro. È opinione più generale l' immagine si dipinga sulla retina: noi già la seguiamo. Non per tanto celebri anatomici la coroide hanno creduto essere la vera tela del quadro.

133. L' angolo fatto dagli assi dei due coni luminosi estremi che introducono la immagine nell'occhio dicesi angolo ottico o visuale. L' angolo opposto al vertice di quell' angolo, a cagione dell' incrociamento dei raggi che formano amendue gli angoli, dipinge capovolta la immagine. Di tali due angoli il primo ha per base l' oggetto visibile, il secondo ha per base la immagine dell' oggetto visibile. La immagine si minora ed accresce in ragione della distanza dell' oggetto dall' occhio. Se la sua estensione è di 1 millimetro mentre l' oggetto è distante 3 metri 900 millimetri, dove di 1 metro 950 millimetri sarà la distanza, quella avrete di 2 millimetri.

134. Il fenomeno della visione potrete verifi- Esperimento

care valendovi dell' occhio di un bue ucciso di fresco. Si priva prima della sclerotica. Indi si situa in un' apertura fatta nella finestra di una stanza oscura in modo che la cornea trasparente sia alla parte esteriore. A traverso le membrane trasparenti della parte opposta si vedranno distintamente le immagini degli oggetti esterni. Al Magendie varii esperimenti si debbono di questo genere. Egli si è servito ancora degli occhi di altri animali.

(1)

Varia conformazione di occhi

135. L' occhio umano, già per noi descritto, può in generale considerarsi come il tipo degli occhi di tutti gli animali a sangue rosso, sebbene con modificazioni sensibili. Scorriamo di queste alcuni

(1) Pleteau di Brusselles ha studiato molto le impressioni prodotte sull' organo visuale dai corpi in moto. Vi accennerò le sue osservazioni. Le modificazioni recate da tali impressioni sull'organo visuale sono in ragione della rapidità del coloramento dei corpi e del tempo necessario perchè questo dal suo cominciare giunga al suo massimo; della durata delle medesime impressioni; e della intensità della luce che illumina i corpi. Sotto la relazione della energia, che queste impressioni producono, i colori devono essere ordinati nel modo seguente: bianco, giallo, rosso, turchino. Quando le impressioni di due diversi colori si succedono alternamente sulla retina con una rapidità non sufficiente perchè ne risulti una impressione unica, si manifestano generalmente delle gradazioni straniere ai due colori impiegati ed anche al loro mescuglio: si può anche con questo mezzo produrre un bel bianco, e ciò adoperando soli il giallo ed il turchino. Quando le impressioni succedonsi con tanta rapidità che sembri formino una sola impressione, questa non offre sempre lo stesso colore che il mescuglio materiale dei due colori impiegati: così, combinandosi in alcune proporzioni il giallo col turchino carico, si produrrà un grigio perfetto, senza la minor gradazione di verde.

esempii. In alcuni animali, di giorno, la pupilla è longitudinale, di notte divien circolare: così nel bue, nel cavallo, nel gatto. Quindi è che questi animali, con le dovute proporzioni, possono di notte concentrare ne' loro occhi più raggi che l'uomo, e per conseguente veggono nella oscurità meglio dell'uomo. Lo stesso di quegli uccelli che fanno di notte tutte le loro prede, come le civette ec.

136. L'occhio nell' uomo e negli animali quadrupedi che vivono alla superficie della terra è di figura quasi sferica, alquanto schiacciata nella parte anteriore. Ne' pesci e ne' cetacei che abitano l' acqua lo spianamento della parte anteriore è più notabile, ed in molti pesci al segno di essere una semisfera, di cui la parte piana è la esterna. Nella raia l' occhio è spianato alla parte superiore, in modo ch' è come un quarto di sfera tagliato da due circoli uno perpendicolare all' altro. D' altronde alcuni pesci offrono eccezione alla regola, e la parte esterna dell' occhio hanno molto convessa. Negli uccelli la parte anteriore dell' occhio ora è piatta, ora è in forma di cono troncato. Sopratutto nelle civette la parte conica è evidentissima.

137. In generale tutti gl' insetti e molti crostacei hanno occhi direi zigrinati, cioè composti da una moltiplicità di faccette leggermente convesse e separate fra loro da piccioli solchi. Molti insetti hanno occhi semplici ed occhi zigrinati, ovver composti.

Occhi composti

138. Gli occhi dell' uomo e della scimia sono diretti in avanti. Negli altri mammiferi sono diretti alquanto lateralmente. Lateralmente sono diretti gli

Direzione degli occhi

occhi degli uccelli, ad eccezione di que' delle civette, che guardano in avanti come i nostri. Laterale è la direzione degli occhi di tutt' i rettili e di moltissimi pesci. Alcun pesce guarda il cielo (l' uranoscopo) lo dice il nome, altri guardano obbliquamente (le raie).

Come il tatto influisca sulla visione

139. La immagine che si dipinge sulla retina non ha rilievo. È una superficie colorata. Inoltre ella è il risultamento dell'azione della estremità dei raggi che toccano l' occhio, e non ha rapporto con le opposte estremità dei medesimi, e che partono dall' oggetto della visione: per la qual cosa il nudo fenomeno della visione non dà il mezzo da giudicare della distanza; della grandezza, della disuguaglianza dei corpi che vediamo. Ed in vero i ciechi nati su' quali si è fatta la operazione della cateratta (1), nel momento che cominciano a vedere, credono tutti gli oggetti che si presentano alla loro vista tocchino gli occhi loro: ed i bambini muovono di continuo le mani come per afferrare quanto vedono, e che credono sia lor vicinissimo. Questi errori dell' occhio dal tatto si correggono e dall' abitudine.

In fatti la mano la cui immagine è dipinta nell' occhio, con l' accostarsi a questo e con l' allonnarsene, impara ad attribuire ad una distanza più

(1) Un male di occhi per cui la lente cristallina diviene opaca dicesi cateratta. Dicesi operazione della cateratta la estrazione della lente cristallina ridotta in tale stato. La lente cristallina in tal circostanza è sostituita da un umore acqueo idoneo alle funzioni del cristallino in istato perfetto, cioè trasparente.

o meno grande, ad un luogo più che ad un altro, la impressione che riceve dalla retina. E dirige l'occhio sulle diverse parti del corpo, e gli rende sensibile la disposizione delle medesime. Instruito l'occhio con l'aiuto della mano, spazia subito nelle applicazioni che quell'aiuto riesce agevolmente a suggerirgli. Indi per l'abitudine cessa di avvedersi dovere al tatto i suoi giudizii.

La comparazione aiuta il tatto nei giudizii visuali

140. Secondo l'angolo visuale un uomo lungi da voi 300 passi dovreste vedere più piccolo che se si trovasse alla distanza di 100. E pure, quando oggetti di comparazione si frappongono, voi presso a poco in amendue le situazioni giudicate l'uomo della stessa altezza. In questa circostanza voi, senz' avvedervene, rettificate l'angolo visuale con la idea della altezza di un uomo che avevate già acquistata, comparando tale altezza, p. e. ad una porta, ad un tronco, o a qualunque altro oggetto circostante, della vera cui altezza il tatto e l'abitudine di comparazioni dello stesso genere hanno potuto ammaestrarvi.

141. Un uomo lungi da voi 300 passi, ed esposto in un luogo dove l'occhio mezzi non incontri di comparazione, p. e. in una immensa pianura nuda di alberi e di edifizii, o in una spiaggia in cui non sievi altro che mare e lido sabbioso, sarà da voi veduto piccolo come un fanciullo. Quì, non aiutato dalla comparazione col mezzo di oggetti circostanti, l'occhio ha giudicato col solo angolo visuale.

Perchè gli oggetti non veggonsi capovolti

142. Si è accennato non ha guari che l'immagine dell'oggetto dipingasi nell'occhio in situazion rovesciata. Ciò porterebbe a dire che naturalmente

tutti gli oggetti per noi si vedessero capovolti. Ma il nostro corpo, dipinto capovolto nella retina, è per noi veduto nella situazione medesima in cui vediamo gli altri oggetti. E perchè avvertiamo il nostro corpo non vedersi capovolto, conchiuderemo non vedersi capovolti gli altri oggetti che vediamo nello stesso modo.

Il sentimento che noi abbiamo di trovarci in situazione diritta corregge l' effetto risultante dal modo come siamo dipinti sulla retina, e quindi determina la sensazione che anche in situazione diritta ci fa vedere tutti gli altri oggetti.

Come si giudica della situazion degli oggetti paragonati col mezzo del tatto

143. Guardando con amendue gli occhi un oggetto di cui giudicar potete con l' aiuto della mano, o di rapporti al tatto immediati, voi sopratutto vi fissate in un punto di quello: agli altri punti attendono meno gli occhi vostri. Ciò produce che tal punto divenga il vertice di un angolo formato dai due vostri assi ottici. L' avvicinamento che voi vi procurate dell' oggetto, operando un certo moto, variar non si può la situazione degli occhi; e gli assi ottici vostri coincideranno sempre sullo stesso punto. Così potrete sull'oggetto portare direttamente la mano, o la estremità di un bastone stretto dalla medesima, e giudicare con esattezza della situazione di quello.

Fissando però la vista di un sol occhio sull'oggetto, mancherà la coincidenza degli assi ottici, e della situazione dell'oggetto potrete meno facilmente giudicare.

Col mezzo di sottil filo sospendete un anello all' altezza degli occhi disposto in modo che non

possiate vederne l' interno. Ad una delle estremità di un bastone lungo un metro attaccate traversalmente un bastone più piccolo. Chiudete un occhio, e col piccolo bastone tentate d' infilzare l' anello. Lo tenterete invano, o difficilissimamente vi riuscirà. Tenendo aperti i due occhi riuscirete subito.

144. In ciascuno dei nostri occhi è dipinta la immagine dell' oggetto di cui sentiamo la visione. Intanto ne vediamo una. Onde ciò? I due nostri assi ottici fanno vertice nell' oggetto che vediamo, e le due immagini si dipingono in parti delle rispettive retine corrispondenti fra loro. Noi, già convinti col mezzo del tatto uno essere l' oggetto, ricevendo allora due impressioni uniformi, avvertiamo queste come una sola, non sappiamo separarle. Qui ricordate due corpi unisoni. Essi sono due: il suono è uno. Sia o l' oggetto (*fig.* 32), ed *r r'* sieno le retine, o sarà il vertice dell' angolo dei due assi ottici: in *a a'* vedete le impressioni uguali. D' altronde quando gli assi ottici non coincidono nel medesimo punto, p. e. allorchè premiamo un occhio con la mano, le immagini, non cadendo in parti delle retine fra loro corrispondenti, e perciò non avvenendo impressioni uniformi, risulta che l' oggetto si vegga raddoppiato. Ne' momenti di furore e di ubbriachezza questo disordine nella direzione degli assi ottici suole avvenire, e quindi raddoppiati sembrano gli oggetti. Unità della impressione in amendue gli occhi

145. Immaginate il complesso il più copioso di oggetti diversi, e grandi, e piccioli. Esso, in un momento impercettibile si trasferisce interamente sulla retina in uno spazio picciolo, limitatissimo, Conchiusione

e quivi si ordina nello stesso modo nel quale era disposto in uno spazio immenso che lo comprendeva. La pupilla intanto sceglie ad una ad una le parti di questo tutto, e senza abbandonare il secondo si occupa interamente delle prime. Prodigii della visione, e non basterete voi soli a provare la esistenza di Dio!

CAPO XVI.

Illusioni ottiche

146. Tutto ciò che l' occhio vede con errore, o non di reale dicesi illusione ottica.

147. Dove il tatto, a cagione delle distanze, supplir non può immediatamente ai paragoni, quivi supplisce l' esercizio delle comparazioni cui il tatto ci abilita, combinato col nostro avvicinamento agli oggetti, o col nostro allontanamento da quelli. La distanza però, a misura che si accresce, diminuisce la esattezza dei paragoni, e giugne un termine in cui gli oggetti vede il nostro occhio con errore.

Dei lunghi viali

È ovvio che, essendo alla estremità di un lungo viale, i due ordini di alberi che lo fiancheggiano sembrino verso la estremità opposta uno verso l' altro convergenti; che gli alberi stessi quivi sembrino diminuire gradatamente di grandezza; e che, per la molta lunghezza del viale, la convergenza degli alberi della estremità opposta può far comparire quelli si tocchino, senza che più sieno sensibili gl' intervalli esistenti fra loro. Questa illusione ottica nasce dal dipingersi le immagini degli alberi sulla retina in due linee fra loro inclinate e con-

correnti in un punto comune. Non per altra causa il pavimento ed il soffitto di una lunga sala, mentre entrate da una estremità, verso l'altra estremità vi sembrano avvicinati.

148. Situatevi alla base di un alta torre, e guardate la sommità dell'edificio. Esso vi sembrerà inclinare sopra di voi, e forse ne sarete per un istante atterrito. Attribuite la illusione ad inclinazion della linea, che dipinge la torre sulla retina, verso una perpendicolare che cade nell' occhio, mentre questo guarda la sommità.

Di un' alta torre

149. Situatevi al lido di mare. Il piano acqueo a misura che si allontana da voi sembrerà all' occhio vostro elevarsi in dolce declivio. Attribuite questa illusione ottica ad inclinazione della linea che dipinge la lunghezza del mare sulla retina verso una linea orizzontale che cade nell' occhio mentre guarda il livello del mare.

Il mare guardato dal lido

150. Allorchè gli oggetti sono da noi molto allontanati noi non possiamo giudicare della loro individuale distanza. Quindi è che, trovandoci in mezzo ad una gran pianura, ci sembra gli oggetti distanti formino un cerchio nel mezzo del quale ci crediamo costantemente situati.

Degli oggetti molto allontanati

Non per altra ragione il cielo ci sembra l'interno di una sfera sparso di stelle. A prima vista gli astri noi reputeremmo ugualmente distanti dalla terra.

Un poligono guardato in certa distanza sembra una sfera. Guardato in distanza maggiore dà la sola idea di una superficie circolare. Ed ecco perchè il sole e la luna voi vedete come dischi circolari.

CAPO XVII.

Cenni sulla prospettiva

151. La prospettiva rappresenta sopra un piano corpi di qualunque forma : fatto la cui ragione a prima vista non è di agevole concepimento.

Idee generali

Esempio. Io voglio esprimere un dado, e disegno sulla carta una delle facce del medesimo. Per esprimere le due facce a quella adiacenti io al primo quadrato due altri posso aggiugnere. Ma questi, aggiunti al primo quadrato, dovrebbero variar la figura. Intanto, con certa disposizione di linee, si riesce sulla carta, ch' è un piano, a disegnare un dado rilevato. Ecco un altra specie d' illusione ottica. Accompagnamola.

Apparecchio al concepimento della prospettiva lineare

152. Il dado ha la figura del cubo. Supponete un cubo in una situazione determinata relativamente all' occhio vostro. Atteso il modo nel quale avvien la visione, gli assi dei diversi fasci luminosi che mandano tutt' i punti del cubo, dopo di essersi incrociati nel foro della pupilla, formeranno una piramide la cui base, poggiando al fondo dell' occhio, produrrà quivi la immagine del cubo. Or tra l' occhio ed il cubo sia un piano o quadro trasparente a traverso il quale passino tutti gli assi che dai diversi punti del cubo vanno all' occhio, lasciandovi la loro impressione, ed immaginiamo cubo tale sparisca. L' immagine impressa diverrà l' oggetto della visione. E come tutt' i punti di questa immagine manderanno all' occhio fasci luminosi di-

retti nello stesso modo che quelli i quali moveano immediatamente dal cubo, ne risulterà la copia fornita dal quadro produr nel fondo dell' occhio impressioni simili alle impressioni che prodotte aveva la presenza dell' originale. Comprenderete che, da ogni parte del cubo venendo a voi dei fasci luminosi, quel solido verrà espresso nel nostro occhio tanto fedelmente, quanto potrà permetterlo il livello del quadro.

153. La geometria dà le regole che operano questa specie di ritratti, e che producono in loro tanto aspetto di verità. La pittura aggiugne la distinzione del lume e delle ombre, e l' incantesimo del colorito.

154. Risulta dall' anzidetto I, che la prospettiva di un punto è nel luogo in cui un piano è attraversato dal raggio che da questo punto va all'occhio; II, che ogni superficie può essere considerata come la base di una piramide di raggi che vengono da tutt' i punti di lei. Un piano che taglia tale piramide dà la così detta prospettiva lineare della superficie. Prospettiva lineare

155. Guardando per mezzo di un vetro della mia finestra la campagna della Barra, se io rifletto ogni raggio luminoso che viene da' varii punti di quella campagna, nel passare pel vetro, lasciar quivi la sua prospettiva, io trovo aver così la prospettiva lineare di quella parte della campagna della Barra che vedesi a traverso il vetro della mia finestra. Quì è ad avvertire che, più l' oggetto in prospettiva è lontano dal vetro, più la prospettiva picciola. Applicando sul vetro ad ogni punto del-

la prospettiva il colore a lui propio io avrò la pittura della medesima e, tolto il vetro da quella situazione, sempre questo la prospettiva lineare della campagna della Barra, quale da me si vedeva, mi presenterà.

Panorama

156. Il panorama è il più bello effetto della prospettiva. È questo una pittura circolare, senza principio e senza fine, di cui non si può vedere nè l'alto, nè il basso, e che tutto l'orizzonte rappresenta a grandezza naturale. Lo spettatore si situa nel panorama nel luogo che corrisponde a quello d'onde il pittore ha preso la veduta. Applicando ad un panorama, p. e. al panorama di Palermo, la teoria della prospettiva lineare, diremo ciascuno de' punti del medesimo ritrovarsi sul passaggio del fascio luminoso che viene immediatamente da un punto di Palermo che il pittore avea sotto gli occhi mentre lo dipengeva. Diremo eziandio l'*insieme* di que' raggi eccitare in noi la sensazion di Palermo.

CAPO XVIII.

Continuazione sulle illusioni ottiche

Lo splendore apparentemente avvicina

157. In generale lo splendore di un corpo veduto nell'atmosfera ci sembra tanto meno vivo quanto il corpo è da noi maggiormente lontano, cioè quanta è maggiore la massa di aria che il raggio deve attraversare. D' altronde per circostanze particolari alcuni corpi, trovandosi più lontani, splendono maggiormente che da vicino. Di due case, vicine fra loro, una biancheggiata, l' altra no, quella,

ancorchè da noi più lontana che la seconda, perchè maggiormente luminosa, ci sembrerà più vicina.

158. Il sole e la luna, nel nascere, presentano una luce debole. Ascendendo sull'orizzonte presentano una luce più viva. In questo secondo stato noi crederemmo quegli astri più grandi, e perciò più vicini che nel primo. Il massimo di tale avvicinamento è quando si trovano sulla nostra testa. Il Mallebranche, a verificare tutto il fenomeno dipendere dalla intensità della luce, la luna nel suo stato di apparente ingrandimento guardava a traverso un vetro affumato. Con questa precauzione la luna perdeva l'ingrandimento, e quindi non dava più luogo a paragone di distanze.

Illusioni prodotte dal moto

159. Una sfera in moto sul suo asse e da noi lontana, se è di superficie uniforme, noi non avvertiamo muoversi. Una candela che muovesi intorno ad un cerchio da noi molto lontano non ci sembra che giri, ma solo che vada e venga da una estremità del diametro all' altra.

Quindi, se la luna non avesse macchie, noi non ci avvedremmo girare ella intorno al propio asse. Quindi i pianeti che girano intorno al sole sembra vadano e vengano sopra una retta che passa pel centro di quello.

160. Un uomo in moto che non può giudicare di muoversi, cioè in istato di quiete relativa, p. e. un uomo in un battello portato dalla corrente di un fiume, crede si muovano gli oggetti circostanti. A tale ragione attribuirete la illusione che vi farebbe credere tutti gli astri muoversi intorno alla terra. Voi vi movete con la terra e non ve ne avvedete.

Dell'aberrazione

161. La luce non venendo istantaneamente a noi, ma col mezzo di un moto progressivo (§.18), e la terra movendosi intorno al propio asse ed intorno al sole (ciò ch' è noto per la cosmologia) ne risulta che le stelle ed i pianeti nel loro propio sito non vediamo. In fatti s' intenda partito un fascio luminoso da una stella. La stella è molto più distante dalla terra di quanto questa è lontana dal sole, e non vi ha dubbio, al momento in cui giugne a noi quel fascio luminoso, la terra, ove esistiamo, a cagione del suo girare intorno a se stessa ed avanzarsi, abbia dovuto cambiar situazione relativamente alla stella. Quindi, allorchè noi riceviamo la impressione del fascio luminoso, questo non è più nella direzione della stella d' onde è partito. Ecco l' aberrazione, per la quale non vediamo le stelle nel sito loro propio. Lo spazio che deesi supporre esistere tra il sito dove sta realmente la stella (sito propio) e quello in cui ella apparisce (sito apparente) constituisce la parallassi, ed un angolo di cui esso sarebbe base angolo della parallassi per gli astronomi è denominato.

Mirage

162. La illusione ottica di cui veniamo a discorrere *mirage* i naviganti francesi denominarono.

Le sabbiose pianure di Egitto, cui l' orizzonte apparente è confine, a giorno avanzato, e quando la superficie del suolo è notabilmente riscaldata dai raggi solari, sembrano terminate da una generale inondazione. I villaggi che veggonsi più lungi di quattro mila metri si offrono all' occhio come tante isole in mezzo ad un gran lago sotto le quali vedesi la loro immagine rovesciata. A misura però

che vi avvicinate a tale apparente inondazione il lago si restringe, sparisce, ed il fenomeno si riproduce ad una distanza corrispondente a quella che passava tra il principio dell' illusorio lago e l' osservatore.

Monge, uno de' sapienti francesi che onorarono l' ardita e famosa spedizione di Egitto, spiega il fenomeno nel modo seguente. Verso la metà del giorno il suolo trovandosi molto riscaldato, lo strato di aria con questo in contatto riceve un' alta temperatura, dilatasi, e per conseguente diviene meno denso degli strati a lui sovrastanti. Ora i raggi luminosi che cadono sopra tale strato rarefatto formano con la superficie dello strato angoli di riflessione non altrimenti che sopra uno specchio, ed all' occhio dell' osservatore portano l' immagine rovesciata delle parti basse del cielo, che allora sul prolungamento veggonsi dei raggi, e che si presentano sotto l' orizzonte reale. Allora l' immagine del cielo riflessa sembra sotto l'orizzonte una superficie di acqua che riflette i raggi partiti dagli oggetti circostanti: e gli oggetti circostanti danno sotto di loro le propie immagini rovesciate a cagione dei raggi ch' essi mandano verso l'aria. Questo fenomeno per chi lo vede e non lo capisce fa credere i limiti dell' orizzonte più bassi e più vicini di quanto effettivamente sono.

163. In parecchi luoghi dell' oceano e del mediterraneo i naviganti, dopo alcune ore di giorno, oltre l' immagine ordinaria del loro vascello, ch' è dritta, un' altra rovesciata ne osservano. La spiegazione del fenomeno è un' applicazione della teoria

testè accennata. Lo strato dell'aria ch'è in contatto con l'acqua si ritrova saturo di vapori, ed ha una densità minore che gli strati superiori, e la sua superficie così diviene suscettibile di riflettere i raggi luminosi in modo da produrre l'effetto del fenomeno denominato *mirage*.

Paraselene 164. Talvolta la luna nasce in ore del giorno favorevoli al fenomeno. Se allora lo splendore atmosferico permette si veda il nascere dell'astro, si osserveranno due immagini di questo. Il fenomeno si denomina paraselene : *para* (in greco) vicino, *selene* luna : quindi lune avvicinate.

Parelio 165. Un fenomeno somigliante al paraselene è il parelio. *Para*, vicino, *elios*, sole : cioè soli avvicinati. Questo fenomeno è molto raro.

CAPO XIX.

Illusioni ottiche. Degli specchi piani

166. Supponete un punto raggiante di rimpetto ad uno specchio piano. Da tal punto sulla superficie dello specchio si vibreranno raggi divergenti. Questi saranno respinti da quella in modo che il loro angolo di riflessione sarà uguale all'angolo d'incidenza (§. 35). In fatti ad una camera sieno di giorno chiuse le finestre, ed in essa per un buco si faccia entrare un fascio di luce *a b* (*fig.* 33) che s'indirizzi sulla superficie di uno specchio metallico c *d*. Il raggio sarà riflettuto dalla superficie, e sopra alcuna parte delle pareti della stanza andrà a dipingere la immagine del buco per lo quale si

è introdotto. Un semicircolo *e a* corredato della rispettiva distribuzione in gradi, situato in modo che il centro di lui s' incontri col punto dello specchio dove cade il raggio, vi farà vedere che il raggio è riflettuto facendo l' angolo d' incidenza uguale all' angolo di riflessione.

167. Dall' anzidetto dedurrete che molti raggi componenti un fascio o cono luminoso, diretti sopra una superficie che li rifletta, dopo la riflessione, conserveranno la stessa direzione che avevano prima, e che un raggio perpendicolare allo specchio è riflettuto sopra se stesso. In fatti in questo caso l' immagine del buco d'onde entra la luce non è dipinta sopra alcuna parete della stanza.

Immagine di un corpo dietro la superficie di specchio piano

168. Diamo un punto raggiante (*fig.* 34). Sia *a* un occhio in presenza dello specchio piano *b*. Tra i raggi riflessi dallo specchio in moltiplici direzioni ve ne saranno alcuni *c* che s' indirizzeranno verso il buco della pupilla per lo quale entreranno. Il complesso di questi raggi potete considerare come un cono troncato la cui base maggiore sarà uguale al circolo della pupilla e la più piccola base giacerà sulla superficie dello specchio. Or questa seconda base è comune al cono luminoso accennato, del pari che ad un altro cono di luce *d* emanato dal punto raggiante, cono che supponiamo non riflettuto, e la riflessione in *c* non altro ha fatto che piegare i raggi, senza disordinarne la direzione.

Per la qual cosa i raggi riflessi giungono all'occhio nello stesso grado di divergenza in cui ci giungerebbero partendo da un punto immaginario *e*

sito al luogo dove i raggi che formano il cono troncato concorrerebbero, quante volte fossero stati prolungati dietro lo specchio.

Quindi l'occhio riceverà la impressione dei raggi componenti il cono troncato, come se quei prolungamenti fossero reali. Per altro esso riceve la impressione unicamente dalla direzione del moto dei raggi al momento del loro arrivo in lui. Tutto il resto del fenomeno avviene come se egli lo ignorasse. E poichè ha l'abito di presentarsi gli oggetti in qualche punto della retta nella cui direzione i raggi vengono a colpirlo, esso alla sommità immaginaria del cono entrato nella pupilla vedrà una immagine del punto raggiante, che produrrà una illusione simile a ciò che si produrrebbe se questo punto fosse stato improvvisamente trasportato dietro lo specchio.

Comprenderete che l'immagine sarà situata dietro lo specchio in distanza uguale a quella che passa fra l'oggetto e lo specchio: a dir vero il cono immaginario che finisce nella immagine, è uguale al cono reale che parte dall'oggetto.

169. In vece di un fascio di luce abbiasi innanzi a specchio piano un oggetto opaco, dove le qualità corporee sieno agevolmente sensibili, cioè lunghezza, larghezza, profondità. I risultamenti della luce riflessa non saranno diversi da quelli della luce diretta: voi dietro allo specchio vedrete una immagine simile all'oggetto, e talmente situata che tutti i punti corrispondenti fra loro, tanto del corpo, che della immagine, saranno in ugual distanza al di quà e al di là dallo specchio.

Mettetevi innanzi ad uno specchio. Tutti i vostri gesti sono ripetuti dalla vostra immagine.

Avanzandovi verso uno specchio, o allontanandovi dal medesimo, la vostra immagine dietro di quello farà tanto cammino, quanto voi ne farete innanzi. Se però non voi verso lo specchio, ma questo si farà avanzare o retrocedere relativamente a voi, l'immagine scorrerà il doppio dello spazio percorso. Esempio: retroceda lo specchio di un metro, l'immagine retrocederà di due.

170. Ritrovandovi presso un lago, gli oggetti a quello vicini vi si rappresentano al rovescio di come stanno realmente: così i vostri piedi presso il lago toccano quelli della vostra immagine. Onde ciò? Togliamo esempio da un albero. L'acqua, che fa l'ufficio dello specchio piano, dovendo ripetere la situazione dell'albero e conservare nel suo interno la stessa distanza dalla superficie che realmente dall'albero a lei, sarà d'uopo che di (*fig.* 35) *a b* il punto *a* si trovi in *a'*, offrendosi in tal modo uguali distanze tra *a' b'*, ed *a b*.

171. Quando lo specchio è notabilmente inclinato in avanti, l'oggetto di cui presenta l'immagine, se è verticale si vede in situazione orizzontale, se è orizzontale si vede in situazion verticale.

172. Perchè un uomo in piedi vegga in uno specchio verticale la sua intera immagine è d'uopo il secondo abbia almeno la metà dell'altezza del primo. L'occhio in fatti vede nello specchio la immagine (*fig.* 36) *a' b* sotto l'angolo *a' a b*, e questo angolo, composto dei due raggi che dipin-

gono nello specchio la figura dell' uomo, costituisce la metà dell' altezza di lui.

Uno specchio di minor grandezza, inclinato, anche vi dipinge intero un uomo in piedi; ma la immagine è in situazione obbliqua come la situazion dello specchio.

173. L' acqua è a considerarsi come uno specchio piano: si è accennato. Ma d' ordinario le immagini che ci rappresenta sono deboli, e talora quasi abbozzate perchè non sono l' effetto della intera riflessione dei raggi che cadono sopra di lei, ma bensì di quella de' soli raggi che sfuggono alla rifrazione (§§. 44, 46).

Questa debolezza di riflessione è minore quanto l' acqua è tranquilla, p. e. in un placido lago. In tal circostanza gli oggetti del lido opposto sono a voi rappresentati da raggi molto obbliqui, e quindi più abbondanti che i perpendicolari: l' obbliquità della loro direzione produce che maggior numero dall' acqua ne sia riflettuto.

Due specchi inclinati fra loro danno molte immagini

174. Se due specchi piani formano un angolo, l' occhio situato fra loro vedrà l' oggetto tante volte per quante perpendicolari da esso e da ciascuna delle sue immagini si potranno far cadere sopra ciascuno degli specchi, e nell' interno dell' angolo.

Esempio. Supponete gli specchi *a b* (*fig.* 37) inclinati in *x*. Sia *c* l' oggetto, *o* sia l' occhio: *o* riceve la immagine di *c* per il raggio rotto *c d o*; ne riceve un' altra dal raggio doppiamente rotto *c e f o*. Or l' angolo di riflessione *x e f* dovendo essere uguale all' angolo d' incidenza *c e g*, e questo essendo uguale a *g e c'*, che lo rappresenta

nello specchio, si avrà $x\ e\ f$ uguale a $g\ e\ c'$, e $c'\ e\ f$ si vedrà essere una retta. Quindi l'immagine c' sta in luogo dell'oggetto c, e l'occhio o vede una seconda immagine in c'' sulla perpendicolare $c'\ c''$ spinta da c' nel secondo specchio.

L'immagine c'' servirà anche di oggetto se potrà far cadere un'altra perpendicolare sopra $x\ a$.

175. Il raggio che porta all'occhio la prima immagine è una volta riflettuto, quello che porta la seconda è riflettuto due volte, quello che porta la terza è riflettuto tre, ec. Più l'angolo fra i due specchi è acuto, maggior numero avrete d'immagini visibili sebbene andranno scemando d'intensità perchè in ogni riflessione si perde una porzione di luce.

176. Supponete i due specchi paralleli. Una infinità di perpendicolari si ripeteranno essi reciprocamente uno verso dell'altro, e quindi infinite immagini saranno in essi dipinte, fino a che per l'indebolimento della luce, operato dalla quantità delle riflessioni, il fenomeno si renderà insensibile. Avete veduto, o inteso parlare di sale o gabinetti le cui pareti opposte sieno tutte coperte di specchi. La illuminazione moltiplicata con questo mezzo opera un effetto sorprendente. Specchi paralleli

177. Situate una candela innanzi ad uno specchio ordinario. Avrete in quello varie immagini, una dietro l'altra, la cui intensità diminuirassi fino a zero. Esse saranno tanto in maggior numero, quanto l'occhio sarà più vicino allo specchio e più lontano dalla candela. A scoprire la cagione del fenomeno ricordate che la superficie posteriore dello Uno specchio ordinario produce molte immagini

specchio è coperta di un'amalgama di stagno e di mercurio. Or, quando i raggi giungono alla prima superficie, una parte di essi n'è riflettuta e constituisce la prima immagine: riflessione parziale che ripetesi dal polorizzamento della luce (1). L'altra porzione di raggi penetra nel vetro, dov'è rifratta ed avvicinata alla perpendicolare: quindi, giunta alla superficie dell'amalgama, riceve la riflessione o ritorna fuori dello specchio, dove l'aria opera su di lei una leggiera rifrazione, accompagnata dalla quale si porta nell'occhio: eccovi una seconda immagine ch'è dalla prima lontana del doppio della grossezza dello specchio. Perchè la superficie metallica riflette più compitamente che la superficie del vetro, questa seconda immagine sarà più intensa. Le altre immagini dipenderanno dai raggi meno obbliqui di quelli che danno le immagini precedenti. Questi raggi penetrando il vetro ne sono rifratti, indi il metallo li riflette e li respinge al vetro, il quale fa loro subire un'altra riflessione, che una parte di essi respinge riflettuta sull'amalgama ec. Per la qual cosa, dopo una quantità di riflessioni più o meno notabili, alcuni raggi, uscendo dallo specchio e rifratti dall'aria, altre immagini della candela porteranno nell'occhio.

La moltiplicità d'immagini or or accennata non reca inconveniente all'uso comune degli specchi ordinarii. D'altronde può evitarsi sostituendo agli specchi di vetro corredati di amalgama specchi interamente metallici. Gli specchi metallici producono

(1) Del polarizzamento della luce è discorso nel cap. XXVI.

una sola immagine. Manca in loro la presenza del vetro da cui le rifrazioni e le riflessioni sono nello specchio ordinario moltiplicate. Negl' instrumenti di ottica contenenti specchi, perchè, adoperando specchi di vetro, la moltiplicità delle immagini secondarie offenderebbe la nitidezza delle immagini principali, si adoperano specchi metallici.

CAPO XX.

Delle caustiche

178. È d' uopo abbiate una idea delle curve dette caustiche. Caustiche per rifrazione

Sia *a b* (*fig.* 38) un mezzo diafano qualunque, p. e. l' acqua. Sia *c* un punto luminoso situato in quello, che mandi i raggi *c d*, *c e*, *c f*, *c g*, ec. Il primo di raggi siffatti, come perpendicolare alla superficie rifrangente (§. 8), non è rifratto. Gli altri, come obbliqui, lo sono, e, facendo gli angoli di rifrazione il rapporto costante con gli angoli d' incidenza (§. 21), prendono le direzioni *e h*, *f i*, *g k* ec. Ciò vi dimostra tali raggi più divergenti dopo la rifrazione che prima: essi dall' acqua, mezzo più denso, passano nell' aria (§§. 8, 21). Prolunghi la vostra immaginazione questi raggi nell' acqua: essi con i punti pe' quali vanno a coincidere in *c* determineranno una linea poligonale *m*, *n*, o, *p* ec., composta di lati al segno piccioli che una curva continua può ben considerarsi, di cui un' altra ne avrete a sinistra di *c d*. Queste curve si denominano caustiche per rifrazio-

ne. Comprenderete adesso che il punto luminoso *c*, emanando intorno a se raggi divergenti, per le intersezioni dei raggi rifratti costituirà con quelli una superficie curva continuata. Ad avere un fatto che vi dia una idea esperimentale delle caustiche per rifrazione valetevi di un picciolo bicchiere pieno di acqua dietro al quale sia collocata una candela. Tosto si formeranno in avanti delle curve luminose in cui riconoscerete quelle di cui è quì discorso.

Caustiche per riflessione

179. Sia uno specchio convesso di figura sferica. Un lume situato immediatamente sopra di lui ne sarà ripetuto senza nulla di singolare. Ma consideriamolo a certa distanza. Sia *a b* (*fig.* 39) parte della superficie dello specchio convesso, e *c* sia un punto luminoso che vibri in quella i suoi raggi. Questi sono riflettuti con divergenza, ed i loro prolungamenti nell'interno dello specchio, fino a che uno sia tagliato dall'altro, formano una sezione di poligono di lati picciolissimi, che termina in *g*, la quale può considerarsi come una curva continuata. Eccovi una caustica per riflessione operata in uno specchio convesso. Un' altra ne avrete a sinistra dell'asse *c d*.

180. Sia *b a* (*fig.* 41) parte dell'interno di uno specchio concavo, e sia *c* un punto luminoso che vibri in quella i suoi raggi. Questi sono riflettuti con divergenza e nella loro riflessione divengono tante tangenti, co' punti di contatto delle quali si determina una superficie poligona di lati picciolissimi *h i k* ec. che può considerarsi come una curva continuata. Eccovi una caustica per riflessione operata con uno specchio concavo. Una simile

ne avrete a dritta dell'asse c g. Il fenomeno è l'inverso di quello che si è detto nella formazione della caustica operata nello specchio convesso.

CAPO XXI.

Illusioni ottiche. Specchi convessi

181. Un punto luminoso, in certa distanza, di rimpetto ad uno specchio convesso, opererà una caustica per riflessione nel senso del §. 179, la quale lo ripeterà dietro lo specchio. Ma non un semplice punto sia scopo della nostra osservazione. Immaginiamo un oggetto esteso. Una serie di caustiche dipingerà l'oggetto dietro lo specchio in situazione dritta come uno specchio piano lo dipingerebbe. I raggi che portano l'immagine nello specchio convesso sono riflettuti senza incrociamento.

D'altronde l'immagine, I, sembrerà più vicina nello specchio convesso, che nello specchio piano, per la tendenza dei raggi quivi riflessi a molto divergere, ciò che avvicina maggiormente alla superficie i vertici degli angoli dei loro prolungamenti; II, sarà più piccola, e ristretta in tutte le dimensioni, perchè la riflessione de' raggi sulle superficie convesse produce la diminuzione dell'angolo in cui sarebbe veduta l'immagine in uno specchio piano; III, sarà più o meno deformata perchè l'immagine, dovendo seguire la convessità, ne risulta certo disordine nelle proporzioni: esempio, miratevi in una cassa di orologio.

Gli specchi pittorici sono convessi, in figura

di sezione di sfera. I pittori se ne valgono per dipingere sopra una piccola scala i paesaggi. Le irregolarità nelle figure che ripete lo specchio convesso sono insensibili quando rappresentano oggetti lontani, ed in generale sono sempre minori quelle di uno specchio in figura di sezione di sfera.

CAPO XXII.

Illusioni ottiche. Specchio concavo

182. Guardato in uno specchio concavo un' oggetto sotto certo punto di vista, l' immagine se ne presenta dritta, più grande, e più distante dallo specchio di quanto l' oggetto è dallo specchio lontano. Allontanate poi l' oggetto gradatamente dallo specchio. Sparisce da principio l' immagine e si riduce ad una confusion di colori e di lume. Poi ad una data distanza improvvisamente ricomparisce, si volge sottosopra, ed esce dallo specchio portandosi verso lo spettatore, ed a lui si accosta; e lo tocca. Vediamo come avvengano illusioni sì fatte.

183. Sia l' oggetto *b* (*fig.* 40) che, per la riflessione, si presenti all' occhio in *a*. La divergenza operata dalla concavità *c d* allontanerà la formazione delle caustiche dei raggi estremi, dilatando l' intervallo fra loro, ed un altro sistema di caustiche interne dipingerà l' immagine dietro lo specchio. In questo caso i raggi sono riflettuti senza incrociamento, l' immagine si presenta dritta come nello specchio piano. Solo si vedrà ingrandita, e più allontanata di quanto realmente l' oggetto

lontano dallo specchio, perchè i raggi che quella dipingono sono dalla concavità dello specchio resi più divergenti che nello specchio piano; ciò che, allontanando la unione, allontana l' immagine fra essi dipinta, ed insiem la ingrandisce. Or sia l' oggetto più in là del vertice dell' angolo visuale, ovvero in maggior distanza dallo specchio di ciò che sarebbe la lunghezza del fascio luminoso che gli dipinge l' oggetto. In questo caso, dovendo i raggi che nello specchio manda l' oggetto formare angoli di riflessione uguali agli angoli d' incidenza, ne risulterà quelli concorrere non nell' occhio che trovasi più in là del vertice, ma fra l' occhio e lo specchio, cioè fuori di questo. Quindi è che le caustiche nel senso del §. 180 la immagine presenteranno fuori dello specchio, e tanto più all' occhio vicina, quanto meno l' occhio sarà allontanato dal vertice dello specchio. Questa immagine si vedrà sottosopra perchè i raggi che la dipingono si sono incrociati.

Tanto nell' una, che nell' altra illusione dello specchio concavo la immagine, dovendo ubbidire alla concavità, si presenta deformata alquanto.

La confusion di luce e calorico [illegible] che l' immagine veggasi fuori dello s[illegible] quando, non giugnendo più la rifl[illegible] alla retina, tra l' occhio ed il pun[illegible] senta la immagine non è intervallo sufficiente onde il primo distingua la seconda.

184. Comprendete potersi con lo specchio concavo operare illusioni curiose, disponendo un oggetto ed uno di tali specchi in modo che non es-

sendo scoperto il primo si renda visibile l' immagine del secondo per poi farla improvvisamente sparire.

Specchi ustorii 185. I raggi del sole per mezzo di uno specchio concavo concentrati nel punto focale dei raggi paralleli (*lib. II cap. V*) alzano la temperatura dei corpi fino ad eccitarne l' accensione o la fusione, secondo le rispettive nature. Quindi è che specchi ustorii, ovvero ardenti, sono denominati. È noto Archimede con gli specchi ustorii l' armata di Marcello incendiasse.

CAPO XXIII.

Illusioni ottiche. Degli specchi prismatici, cilindrici, ec.

186. Si fanno degli specchi in forma di prisma, di cilindro, di cono: specchi di curiosità, anzi che di comodo. Col mezzo di questi si vede una parte dell' oggetto che si mette loro innanzi. Talora essi vanno adoperati onde rettificare figure fatte irregolari ad arte. Sono conosciute alcune pitture sopra cartone sulle quali si veggono delle figure viziose o insignificanti, che messe innanzi ad alcuno degli specchi qui accennati offrono in questi delle immagini regolari. La geometria dà le regole per combinare i tratti dei disegni con la incurvatura o con gli angoli dello specchio in modo da promoverne il voluto risultamento.

Specchio prismatico 187. Uno specchio prismatico raccoglie in una immagine, senza interruzione, molte parti di un

disegno separate le une dalle altre, gl' intervalli fra le quali occupati da altre figure, impediscono conoscansi i rapporti che esistono fra quelle. Supponete in *a b c d e* una porzione di specchio prismatico (*fig.* 42). L' occhio o, il quale vede nello specchio per la riflessione dei raggi incidenti, non riceverà che i raggi emanati dagli oggetti situati negli spazii *a f g b*, *b h i c*, *c k l d*, *d m n e*: i raggi degli oggetti situati negli intervalli angolari saranno perduti per lui. Or collocate in quest' intervalli figure che leghinsi con le parti che deve rappresentare lo specchio, ma che ne distruggano la connessione; avrete un tutto che conservando quelle parti non vi farà ravvisare i rapporti che nello specchio passano tra le medesime.

188. Lo specchio piramidale è nello stesso caso che il prismatico. Specchio piramidale

189. Lo specchio cilindrico nel senso del suo asse presenta l' effetto dello specchio piano, nel senso trasversale dà l'effetto dello specchio convesso o concavo. Guardandosi alcuno in uno specchio di questo genere, di cui l' asse sia parallelo alla situazione degli occhi, l' immagine del volto sarà schiacciata, e molto allargata. Se poi l' asse sarà perpendicolare alla situazione degli occhi avrassi un effetto perfettamente contrario all' accennato. Specchio cilindrico

190. Lo specchio conico presenta tutti gli oggetti capovolti, e molto deformati. Specchio conico

191. Sonovi eziandio degli specchi inuguali, cioè parte piani, parte convessi e concavi; o piani e concavi solamente; o piani e solamente convessi. Con gli specchi a superficie inuguale si riesce

a far comparire colui che in loro si mira come se presentasse contorsioni di bocca oltremodo ridicole.

CAPO XXIV.

Della doppia rifrazione

192. Ho accennato essere in molti minerali la propietà di obbligare il raggio che li penetra a dividersi in due parti (§. 23). Il fenomeno si manifesta principalmente nei cristalli di carbonato di calce romboidale, conosciuti comunemente con la indicazione di spato d'Islanda. Scoperto il fenomeno da Erasmo Bertolino, la spiegazione del medesimo fra molti scienziati Huyghens e Newton occupò. Wollaston e Malus dimostrano la vera legge che dirige il medesimo quella essere per Huyghens determinata.

Doppia rifrazione in un romboide di spato d'Islanda

193. E perchè nello spato d'Islanda il fenomeno maggiormente si manifesta, noi di questo minerale ci serviremo per la esposizion del fenomeno. I cristalli, come lo indica la denominazione, hanno la forma di un romboide (*fig.* 43). Tal romboide ha sei angoli solidi acuti, e due ottusi *a b*. Questi sono composti di tre angoli piani uguali ed ugualmente inclinati. Determinate le picciole diagonali *a c*, *d b* delle due facce del cristallo *a e c f*, *d g b h*, e sieno queste considerate le basi del romboide che terremo come orizzontalmente situato. Il quadrilatero *a c b d* formato dalle picciole diagonali delle basi e dalle estremita *a d*, *c b* sarà ciò che diremo sezione principale del romboide. Una retta fra i due

angoli ottusi *a b*, la quale si troverà ugualmente inclinata verso tutte le facce del cristallo, direte asse del medesimo.

Collocate il romboide sopra una carta dove abbiate segnato una linea con l' inchiostro, e guardate questa a traverso la grossezza del cristallo. Questa linea vedrete raddoppiata. Deducesi da ciò che il raggio nell'attraversare il romboide si divide in due fasci. Vediamo come ciò avvenga. Sia *k i* un raggio di luce incidente sulla base superiore del cristallo e cada perpendicolare. Esso nell' immergersi nel cristallo si divide in due parti *i o*, *i n*. Ed eccovi il raggio doppiamente rifratto: *i o* direte raggio ordinario, *i n* raggio estraordinario direte, la distanza *n o* distanza radiale.

Cada obbliquamente sulla superficie del romboide il raggio incidente *k i*. Esso si dividerà in due parti: il raggio ordinario si rifrangerà accostandosi alla perpendicolere del punto d' immersione, seguendo una legge analoga a quella delle rifrazioni comuni. Il raggio estraordinario si allontanerà costantemente dalla perpendicolare per avvicinarsi all' angolo *d*.

Quante volte il raggio incidente si trovi coincidere nel piano della sezion principale *a c b d* amendue i raggi, ordinario ed estraordinario, saranno nello stesso piano.

194. Risulta dall' anzidetto esistere nel cristallo di calce carbonata romboidale una forza particolare che togliendo al raggio ordinario, il quale è prolungamento del raggio incidente *k i*, una porzione

delle sue molecole, respinge queste verso *d*. Forza sì fatta emana dall' asse del cristallo.

Scoperte del Biot

195. Il Biot osserva però esistere cristalli nei quali il raggio estraordinario, anzi che essere respinto dall' asse del cristallo, è da questo attirato. Quindi egli la doppia rifrazione divide in attrattiva e ripulsiva.

Lo spato d' Islanda, l'arragonite, la calce fosfata, il berillo, la turmalina hanno la doppia rifrazione ripulsiva; il quarzo, la barite solfata, il topazio, la calce fosfata hanno la doppia rifraziono attrattiva. In queste sostanze la doppia rifrazione, attrattiva o ripulsiva, emana dall' asse (*a b*). La mica però, dietro le osservazioni del Biot, è un esempio di due assi ripulsivi, uno nel piano delle lamine del minerale, uno perpendicolare a tal piano. Quindi conchiuderemo esservi cristalli da doppia rifrazione ad un asse, ed a più assi.

Doppia rifrazione in due romboidi uno sull' altro

196. Sieno due cristalli da doppia rifrazione, uno sovrapposto all' altro, in modo che le loro sezioni principali coincidano in uno stesso piano, o sieno parallele. Nel secondo la doppia rifrazione avverrà con la stessa legge che è avvenuta nel primo cristallo; potrà considerarsi come una ripetizione della rifrazione avvenuta nel primo; i raggi emergenti dalla parte inferiore del secondo cristallo saranno una continuazione dei raggi emergenti dalla parte inferiore del primo.

197. Se la disposizione dei due romboidi, uno all' altro soprapposto, sarà in modo che le due sezioni principali s' intersechino ad angoli retti, in

questo caso il raggio ordinario del primo romboide diverrà raggio estraordinario del secondo, ed il raggio estraordinario del secondo diverrà raggio ordinario del primo.

198. In tutte le situazioni intermedie, cioè in quelle dove le sezioni principali sono fra loro inclinate, ciascuno dei raggi usciti dal primo cristallo suddividerassi nel secondo cristallo in un raggio ordinario ed in un raggio estraordinario, che si dirigeranno secondo la incidenza del raggio di cui sono suddivisioni.

Uscita dei raggi doppiamente rifratti

199. Tanto i raggi ordinarii, che gli estraordinarii, nel ritornare dal romboide all' aria per mezzo di una faccia parallela a quella d' onde sono entrati, prendono direzione parallela al raggio incidente.

Esempii

200. Imprimete un punto con l' inchiostro su di una carta, ed a quello sovrapponete due romboidi di spato d' Islanda, di cui le facce uniformemente corrispondenti sieno parallele fra loro. In questa circostanza, come se il punto fosse sottoposto ad un solo romboide, avrete di esso due immagini, e non più. Solo si troveranno maggiormente allontanate sotto i due romboidi, che sotto uno: e già ne sentite la ragione. In vero, facendo il secondo romboide una continuazione del primo, l' allontanamento in quello del raggio estraordinario dovendo essere in continuazione del raggio estraordinario di questo, come che si allontana maggiormente dal vertice, dovrà dar luogo a base maggiore.

201. Ma il romboide superiore, descrivendo un circolo, fate dolcemente girare sopra l' inferiore.

Tosto vedrete due nuove immagini del punto, da principio deboli, poi più intense, fino a che le due prime, indebolite a gradi, vadano a sparire. Ciò avverrà mentre il romboide farà un quarto del suo giro. Il fenomeno si riprodurrà in tutti gli altri tre quarti del giro.

Malus ha dimostrato che gli effetti notati or ora non solo si ottengano con due romboidi di sostanza simile. La esposta disposizion della luce dipende semplicemente dalle situazioni rispettive degli assi di rifrazione delle sostanze adoperate.

Causa della doppia rifrazione

202. La legge con la quale procede la doppia rifrazione Wollaston e Malus hanno matematicamente dimostrato quella essere che Huyghens divisò. Intorno alla causa fisica del fenomeno vediamo la opinione del Newton.

Suppone il Newton le molecole della luce avere due poli su i quali la materia dello spato d'Islanda eserciti una azion particolare che abbia il suo centro nella regione dell'angolo ottuso. Quindi considera ogni raggio semplice come un prisma quadrangolare infinitamente picciolo in cui tutt' i poli suddetti sieno situati sopra due facce opposte, che diremo facce, o lembi, di rifrazione estraordinaria. Or, quando il raggio penetrando il romboide, p. e. portandosi (*fig.* 43) da *a e c f* verso *d g b h*, presenta uno di questi lembi all' angolo *d*, la forza supposta dal filosofo attira a se il lembo, mentre quando presenta allo stesso angolo *d* uno dei due altri lembi del prisma, che noi lembi diremo di rifrazione ordinaria, la materia del romboide non ha su di lui altra azione che quella ch' egli ha co-

mune co' mezzi ordinarii, ovvero che non hanno doppia rifrazione. Per questi dati, dei raggi semplici il cui complesso forma un fascio di luce, ovvero raggio composto, che cade sul romboide di spato d' Islanda, gli uni hanno il lembo di rifrazione ordinaria, e gli altri il lembo di rifrazione estraordinaria volti verso l'angolo ottuso. Quindi il fascio luminoso si dividerà in due parti, delle quali una offrirà la sola rifrazione ordinaria, mentre l'altra, attirata dalla forza esistente nell'angolo, offrirà la estraordinaria rifrazione.

203. Il fenomeno delle quattro immagini prodotte dalla sovrapposizione dei due romboidi, e delle variazioni d' intensità che presentano quelle immagini (§. 201) concorre a dar verisimilitudine alla ipotesi neutoniana. Imperocchè in quegli effetti si riconosce che la suddivisione del cono composta di raggi estraordinarii, nella quale tutti i lembi di rifraziono dello stesso nome erano da principio volti verso la regione d' onde emana la forza che agisce sopra di loro, suddividesi a grado a grado a misura che, durante il muovere in giro del romboide, regione sì fatta cambia situazione. Le molecole luminose allora sfuggono successivamente alla forza attrattiva estraordinaria per esporsi all' attrazione ordinaria. All' altra suddivisione del cono avviene intanto il contrario. Facendo precedentemente angolo retto con la regione d' onde emana la forza di rifrazione estraordinaria, le molecole, pel girare del romboide, a poco a poco vanno a ricevere l' azione di lei, e a divenirle pienamente suggette.

CAPO XXV.

Difrazione della luce

204. La difrazione (§. 8, 9), detta dal Newton inflessione della luce, è una modificazione che soffrono i raggi luminosi quando passano immediatamente vicini alla estremità dei corpi. Essi sono allora piegati, e deviano disugualmente dal corso diretto, disuguaglianza ordinata con la rispettiva loro rifragibilità.

Esempio

205. In una stanza oscura introdotto un fascio solare per picciolissimo forame, ed esposto a tal luce un corpo sottile, p. e. un fil di ferro, l' ombra di questo ricevuta sopra un cartone bianco, dietro di cui situato sia l' occhio, troverete essere più larga che se i raggi componenti il fascio solare, conservando la direzion rettilinea, fossero passati rasenti le estremità del filo. (In vece del cartone bianco può adoperarsi anche un vetro leggermente appannato). Vedrete inoltre l'ombra esteriormente fiancheggiata da frange di varii colori e di diverse larghezze, e nell' interno fiancheggiata la vedrete da frange, altre lucide, altre oscure, delle quali le prime colorate come quelle che si veggono alla parte esteriore. Quindi sarà d'uopo conchiudere che i raggi del fascio o cono luminoso, nel passare pel picciolo forame, abbiano sofferta una modificazione, che gli ha dilatati in un cono più aperto, ed anche in varii coni secondo le rispettive loro rifrangibilità.

206. Il fenomeno per molto tempo è stato attribuito ad una ripulsione che il corpo sottile esercitava sulla luce, in virtù del quale i raggi, a misura che passavano più o men vicini a tal corpo, erano inflettuti più o meno. Fresnel però lo attribuisce ad una teoria appoggiata all' interrompimento del corso rettilineo delle molecole dei diversi raggi colorati, prodotto dalla interposizione di un corpo estraneo, per lo quale ciascuna molecola colorata deve prendere nuova direzione. Teoria oggi applaudita maggiormente.

CAPO XXVI.

Polarizzamento della luce

207. Cada un raggio luminoso *a b* (*fig.* 44) sopra una superficie di vetro pulito *c c*, e formi con questo piano un angolo di 35 gradi. Fatto l'angolo di riflessione uguale all' angolo d' incidenza, sia ricevuto sopra un'altra superficie di vetro polito *c' c'* : esso sarà nuovamente riflettuto. Ma questa riflessione non avverrà se, descritta una retta *b b'*, sia ricevuto sotto una seconda inclinazione di gradi 35, e se, di più, il secondo piano di riflessione *b' d* si troverà perpendicolare al primo. In tal caso il raggio attraverserà interamente il secondo vetro. Nullità di riflessione in una circostanza

208. In vece della seconda lastra, al raggio riflettuto *b b'* presentisi un corpo dotato della doppia rifrazione, p. e. un romboide di spato d'Islan- Nullità di doppia rifrazione

da, in modo che la sezion principale sia perpendicolare al piano *a b*. Il raggio non vedrete suggetto a doppia rifrazione.

Conseguenza

209. Vi sono dunque per le molecole luminose situazioni nelle quali le superficie atte a rifletterle si lasciano da loro liberamente attraversare, e che, quando queste sono dotate della doppia rifrazione, tal fenomeno non fanno avvenire.

Riflessione completa

210. Presentato un raggio luminoso a quel vetro sotto altro dato angolo di obbliquità, le sue molecole saranno tutte insieme riflesse. Niuna ne sarà rifratta.

Analogia con altro fenomeno

211. Questi fatti danno luogo ad osservazioni analoghe a quelle che offrono due romboidi di spata d' Islanda, uno facendo le sue rotazioni sull' altro (§. 201).

Circostanze intermedie

212. Situazioni intermedie fra gli angoli che determinano la intera rifrazione e quelli che determinano la intera riflessione rendono la luce parte rifratta, parte riflessa.

Teoria del Malus

213. Dai fenomeni accennati in questo capo il Malus si confermò col Newton le molecole luminose avere i lor poli, e dedusse che in virtù di un cristallo da doppia rifrazione o di un piano di vetro atto a riflettere, situato sotto certi angoli, vengono quelle disposte in modo che gli assi loro sieno tutti paralleli, e le facce omologhe, ovvero uniformemente corrispondenti, sieno tutte volte nello stesso senso. Così il Malus l' effetto del primo vetro sulle molecole del raggio all' effetto assimilando di una calamita, che i poli di una serie di aghi magnetici

volge tutti in una stessa direzione, polarizzamento della luce lo denominò.

214. Il Biot ha osservato dei casi nei quali le molecole luminose che attraversano il cristallo dotato di doppia rifrazione non dalla loro entrata in quello si ordinano in una situazione costante, come nel caso del polarizzamento accennato; ma che vi pervengono a diverse profondità, oscillando in quelle intorno al centro loro di gravità come oscilla il bilanciere di un orologio, e talune anche girando sul loro asse. Quindi, applicando a questo fenomeno la denominazione di polarizzamento mobile, il fenomeno scoperto dal Malus distingue con l' altro di polarizzamento fisso. Secondo il Biot inuguali sono le rapidità con cui girano le molecole componenti i diversi raggi luminosi. Le violette girano più velocemente che le turchine, queste più velocemente che le verdi: le rosse sono le più lente di tutte. Polarizzamento mobile

215. Gli esperimenti di questi fenomeni si fanno con le lastre di mica, di calce solfata, e di cristallo di rocca. Le applicazioni dei medesimi entrano in rapporto col fenomeno degli anelli colorati.

216. Se sulla prima delle due lastre (§. 207) disposte per osservare il polarizzamento della luce si faranno riflettere l' emanazioni calorifiche di un corpo caldo assai, alquanto rovente o affatto oscuro, esse si polarizzeranno come la luce: imperocchè la seconda lastra rifletterà il calore nelle situazioni in cui la riflession della luce sarebbe stata possibile, e cesserà di riflettere in quelle nelle Polarizzamento del calorico

quali riflessione sì fatta non avrebbe avuto luogo. Quindi supponendo l' emanazioni calorifiche oscure sieno prodotte, come la luce, da molecole mosse con gran velocità, troverete queste molecole essere modificate da quella riflessione nello stesso modo che la luce.

CAPO XXVII.

Difetti della vista, e rimedii ottici all' uopo

Miopi

217. Quando la lente cristallina, o la cornea trasparente si rendono troppo convesse, le immagini degli oggetti situati a certa distanza da loro non si formano sulla retina, come quando la vista è regolare, ma prima di giugnere a quella. A rimediarvi naturalmente occorre accostarsi molto agli oggetti perchè le costoro immagini giungano sulla retina. Coloro i cui occhi soffrono questo difetto diconsi miopi; dalle voci greche *mio*, chiudere, ed *ops*, occhio (1), perchè obbligati a socchiudere gli occhi onde diminuire l'allontanamento. Socchiudendosi gli occhi, la cornea trasparente offre all'azion della luce minore convessità.

218. Al difetto di vista de' miopi si rimedia dalla diottrica aumentando la divergenza dei raggi che dagli oggetti vanno all' occhio, affinchè, riducendo l' uso della cornea e del cristallino quali sarebbero in un occhio non miope, formino delle

(1) *Miops* voce latina

caustiche che giungano sino alla retina. Ciò si opera col mezzo degli occhiali a vetro concavo più o meno, secondo che il miopismo dell' occhio è più o meno notabile.

219. Gli umori che producono la visione, per l' avanzamento della età si disseccano, ed alla cornea trasparente ed al cristallino resta solo la convessità che occorre ad accompagnare sulla retina e render quivi distinti gli oggetti lontani: le immagini degli oggetti vicini si arrestano, ovvero si formano, in là della retina. Quindi l'occhio vede confusamente. Questo è il difetto che si osserva nella vista dei vecchi. A coloro che lo soffrono si dà la denominazione di presbiti: *presbis* in greco signica vecchio. Presbiti

220. Il rimedio alla vista pe' presbiti è diminuire la divergenza dei raggi che dagli oggetti si portano a noi onde le caustiche non oltrepassino la retina. Si opera con gli occhiali a vetro convesso. Comprendete ora come i presbiti riescano a leggere distintamente allontanando il libro dagli occhi loro. In questo modo i coni luminosi che mandano i varii punti di ciò ch' è sulla pagina, avendo assi più lunghi, mentre la lor base resta uguale al cerchio della pupilla, risulta i raggi, nel giugnere all' occhio, trovarsi men divergenti che in caso il libro fosse più vicino: e per conseguenza che, con la distanza accresciuta inutilizzandosi l'effetto della soverchia divergenza, l' immagine si arresti sulla retina.

221. Gli occhiali periscopici (*peri*, voce greca, intorno, *scopeo*, guardare) sono convessi dal- Occhiali periscopici

la parte dell' oggetto, concavi dalla parte dell' occhio, e servono a rendere più distinta la visione degli oggetti che si presentano lontani dal centro del vetro, e che negli occhiali ordinarii si veggono deformati e confusi.

Vetri ardenti 222. I raggi del sole, concentrati per mezzo di una lente convessa, nel punto focale di lei (*lib. II* §. 42) alzano la temperatura dei corpi nello stesso modo che gli specchi ustorii. Tschirnausen ha costruito una lente attivissima di questa natura. Essa ha 13 decimetri di diametro. I vetri adoperati per eccitare la combustione diconsi vetri ardenti.

CAPO XXVIII.

Instrumenti ottici

223. La costruzione degl' instrumenti di ottica è stabilita sulla teoria dei punti focali. Le immagini degli oggetti che ci si presentano per mezzo di tali instrumenti sono tante unioni di punti focali dipendenti dai punti raggianti situati alla superficie degli stessi oggetti. Le distanze fra questi punti ed i vetri dove cadono i raggi varia secondo lo spettatore cambia situazione, o secondo egli osserva diversi oggetti più o meno lontani.

224. Gl' instrumenti ottici distinguerete in altri attinenti alla diottrica, che sono quelli i quali solamente agiscono con la rifrazione dei raggi, ed in altri catadiottrici i quali comprendono insieme e mezzi di rifrazione e specchi.

Degl' instrumenti ottici il vetro ch' è verso l'oggetto dicesi oggettivo, il vetro ch' è verso l'occhio dicesi oculare. A coordinare il concorso dei punti focali, i vetri sono situati a distanze calcolate. D'ordinario la oculare è chiusa in un tubo in modo da potersi avvicinare od allontanare dall' oggettivo, secondo occorre all' osservatore.

225. Il microscopio serve ad osservare oggetti piccolissimi: *micros*, in greco, picciolo. Con questo instrumento i raggi riflettuti dalle minime parti degli oggetti si rendono capaci di servire alla visione. Quindi si adopera onde distinguere e conoscere con chiarezza gli stami ed i pistilli dei fiori, le parti di un insetto, ec. La invenzione del microscopio vogliono verso il 1620. Microscopio

226. I raggi che dipingono un oggetto situato troppo vicino all' occhio, a cagione di questa soverchia vicinanza, non saranno rifratti in modo di arrestare la immagine sulla retina. Essi sono troppo divergenti. Si vedrà una confusione di luce e di colori. Ora il microscopio, il quale avvicina troppo all' occhio l' oggetto, obbligando alla convergenza i raggi, opera che la immagine dipingasi sulla retina come se l' oggetto si ritrovasse ad una distanza ordinaria. Quindi la immagine non sarà più confusa nell' occhio, ma anzi più distinta che se si vedesse ad occhio nudo, perchè la rifrazione raccoglie i raggi e maggior numero ne introduce nella pupilla. Inoltre si vedrà ingrandita perchè l' angolo visuale, ingrandito dall' avvicinamento dell' oggetto, resta lo stesso.

227. Il microscopio semplice è formato di una lente convessa, o di una picciola palla di vetro (1). Il microscopio composto è formato da più lenti convesse. Il microscopio composto maggiormente in uso è a tre lenti.

Seneca accenna un globo di vetro pieno di acqua col cui mezzo la scrittura più sottile ed impercettibile si leggeva agevolmente. I microscopii del Gray erano una imitazione di questo globo. Così la origine del microscopio avrebbe una data molto più antica di quella che si dice.

Telescopio 228. *Tele*, voce greca, lontano. Il telescopio, o cannocchiale, ad osservare oggetti lontani fu inventato. Archimede, Aristotele, e forse anche Pitagora conobbero il telescopio, il cui trovato è probabile lungo intervallo d'ignoranza poscia abbuiasse. Pare Ruggiero Bacone ne abbia avuto idea: visse Ruggiero Bacone nel secolo XIII. Il Chioccarelli, discepolo del nostro G. B. della Porta, attribuisce la invenzione del telescopio al suo maestro. Ad ogni modo l'instrumento deve la sua perfezione al Galilei.

---

(1) » A misura che la lente è più piccola si minora la distanza focale e si aumenta l'angolo ottico: dal che nascer dee per necessità che notabilmente si accresca il suo poter d'ingrandire. La cognizione di questa verità suggerì l'idea all'insigne nostro padre della Torre di formare delle picciole palline di cristallo e di servirsene nei microscopii in vece di lenti: conciosiachè il foco della sfera essendo in distanza della quarta parte del suo diametro, e le palline essendo estremamente picciole, la distanza focale è breve a segno che talune di esse, di cui ne conservo una bella serie, giungono ad ingrandire per più di mille volte il diametro dell'oggetto. » *Poli* Elem. di Fisica.

229. Il telescopio astronomico, il più semplice dei telescopii, fu invenzione del Keplero. È composto di due lenti convesse: una oggettivo, una oculare. Ingrandisce notabilmente; ma, per essere amendue convesse, fa vedere l'immagine al rovescio: circostanza che non monta nulla relativamente ai corpi celesti, la figura dei quali è ritondata. L'ispezione oculare della figura vi esprime l'effetto (*fig.* 45). L'oggetto si suppone *a*. Telescopio astronomico

230. Il telescopio galileano è a due lenti: l'oggettivo convessa, la oculare concava. La prima capovolge la immagine, la seconda la raddirizza (*fig.* 46). L'oggetto si suppone *a*. Telescopio galileano

I così detti spioncini da teatro sono della costruzione galileana.

231. Il telescopio terrestre, ovvero a quattro lenti, è composto tutto di vetri convessi, cioè di due oggettivi di più che il cannocchiale astronomico, pe' quali la figura va all'occhio raddirizzata. (*fig.* 47). L'oggetto si suppone *a*. Telescopio terrestre

232. Gl'instrumenti diottrici fin ora accennati hanno due difetti. (Avvertite prima che alle lenti si dà la figura di sezioni di sfera). I. L'aberrazione di sfericità: per questa l'immagine è offuscata da una quantità di altre immagini che rendono confusa la visione. Si ripara rendendo picciola la superficie dell'oggettivo. Così, restringendosi questa, s'impedisce l'accesso ai raggi che cadono a certa distanza dall'asse del cono luminoso, e che, introdotti, produrrebbero l'inconveniente. II. L'aberrazione di rifrangibilità: per la sfericità la lente dell'og- Aberrazioni

gettivo opera la decomposizion della luce, e presenta le immagini circondate da una specie d'iride che deforma le immagini, e toglie lor la chiarezza. Si rimedia formando l'oggettivo di due lenti, una convessa, una concava, o di due lenti convesse cui una lente concava sia frapposta; e si adoperano all'uopo due vetri di diversa qualità, uno detto flint-glass, in cui entra minio, ovvero ossido rosso di piombo, uno detto crown-glass, ch'è il vetro comune. Ciò dicesi acromatizzare il cannocchiale, ed il cannocchiale così difeso dall'aberrazione dicesi cannocchiale acromatico. *Croma*, colore, *a* senza; quindi, dal greco, cannocchiale senza colori.

Telescopio di riflessione

233. Il telescopio di riflessione (*fig.* 48) ha per oggettivo uno specchio concavo metallico *a b*, il quale sapete è franco dall'inconveniente di moltiplicare la immagine. Questo specchio rovescia la immagine, che va ricevuta da un altro specchio concavo metallico *c*, il quale con un secondo incrociamento di raggi quella raddirizza. Le oculari convesse *e f* rendono i raggi convergenti, e portano l'immagine all'occhio dell'osservatore. Il telescopio di riflessione è invenzion del Gregory. Il Newton gli ha recato alcune modificazioni.

234. Il telescopio binoculo due cannocchiali compongono simili, paralleli, e distanti fra loro quanto gli occhi sono fra loro distinti. Si dispongono in modo che i due assi ottici concorrano nel medesimo punto. Così, non geminato, ma unico presentano l'oggetto. Il campo i telescopii binoculi rendono maggiore di quelli in cui si fa uso di un

occhio, e gli oggetti presentano più chiari e più ingranditi. Differenza che notiamo eziandio guardando a vista nuda un oggetto con un occhio, e con due. Gli occhialini da teatro binoculi sono molto in uso.

235. La camera oscura è una cassa portatile. Un tubo fornito di lente convessa è ad una delle sue facce. L'oggetto che promove la immagine nell'interno è situato di rimpetto alla lente. Uno specchio piano, ad una data inclinazione, riceve la immagine dalla lente, e riflettendola verso l'alto della cassa, la rende visibile sopra un vetro appannato (*fig.* 49). Wollaston con un vetro periscopico ha corretti i difetti che nella camera oscura produceva la lente. Camera oscura

La camera oscura è una imitazione dell'occhio. Fu inventata da G. B. della Porta.

236. La camera lucida, o camera chiara, invenzione del Wollaston, è composta essenzialmente di un prisma quadrangolare di vetro, il quale con la riflessione offre le immagini degli oggetti che gli stanno innanzi, mentre a traverso di se lascia vedere gli oggetti che le stanno sotto. Così nello stesso tempo, per mezzo della camera lucida, si vede e la immagine e la carta sopra di cui sembra spinta la immagine: ciò che agevola molto il copiar questa, potendosi facilmente sulla carta contornare la figura caduta sopra di lei. Camera lucida

237. La lanterna magica sapete essere una cassa nel cui fondo si colloca un lume. I raggi che manda la fiamma sono ricevuti da una lente o da Lanterna magica

uno specchio concavo che li condensa, e condensati li fa cadere sopra un vetro piano e sottile sul quale sono dipinte delle figure. In avanti del vetro, dove sono dipinte le figure, è una seconda lente convessa, dal cui mezzo per una apertura circolare passano i raggi a traverso una terza lente mobile per mezzo di un tubo alla cui estremità è essa incastrata. I raggi, uscendo da questa ultima lente, producono sul muro opposto una copia ingrandita delle figure dipinte sul vetro piano. Le immagini si veggono dritte perchè i fasci luminosi s' incrociano nella seconda lente.

Nel farsi uso della lanterna magica il luogo deve esser privato di ogni altro lume. Il solo lume della macchina sia nella stanza. Coloro che mostrano la lanterna magica, sul muro, dove presentano le immagini, fanno tendere una tela. In questo caso lo spettatore sta dov'è l' instrumento. Taluni, a rendere più gradevole la esperienza, fanno sospendere una tela in mezzo la camera, e situano da un lato gli spettatori, e l' instrumento dall' altro.

Fantasmagoria

238. La fantasmagoria è una modificazione della lanterna magica. Innanzi allo spettatore si mette una tela gommata verticalmente ben tesa, e come la tela di un quadro trasparente. Sopra di questa tela si dipingono le figure. La stanza non riceve altro lume che dall' apparecchio fantasmagorico.

L' apparecchio è mobile per girelle vestite di panno ad oggetto che, se si muove, non faccia rumore. Avvicinandosi l' instrumento alla tela l'oggetto s' impicciolisce, allontanandolo ed avvicinando

fra loro due delle lenti l' oggetto si fa più grande. In questo modo si fa comparire uno spettro picciolissimo, e si fa avanzare verso gli spettatori ingrandendosi a grado a grado fino a scuoterli, e ad atterrir gl' idioti.

239. Il microscopio solare ha molta analogia con la lanterna magica. S' introduce un raggio di sole in una stanza oscura per mezzo di uno specchio piano, che orizzontalmente lo riflette. Una lente adattata al buco della finestra d' onde è introdotto lo riceve. A questa luce si presenta il piccolo oggetto che vuolsi esaminare. Una seconda lente vi dipinge l' oggetto sopra una tela, rovesciato, ma ingrandito moltissimo. Microscopio solare

240. Il micrometro del Ronchon, instrumento destinato alla misura dei piccioli angoli, è un doppio prisma di spato d' Islanda. Il Ronchon se ne vale a misurare i diametri apparenti dei corpi celesti. Micrometro

CAPO XXIX.

Analogia tra la luce ed il calorico

241. Avete osservato grande analogia tra la luce ed il calorico. Amendue fluidi sottilissimi imponderabili elasticissimi rapidissimi, amendue raggianti, amendue dotati delle propietà di essere rifratti e riflessi, polarizzabili entrambi, entrambi dotati di forza componente e decomponente, è opinione molto ricevuta abbiano una medesima natura.

242. Ma varie obiezioni si oppongono a tanta

sentenza. E primamente il potersi ottenera i raggi calorifici distinti dai raggi luminosi. Indi la differenza tra il modo di agire dei due fluidi sulle nostre sensazioni, uno producendo la visione, l' altro il calore. Indi la intensità della luce e la forza calorifica manifestarsi dipendenti da leggi diverse : imperocchè nello spettro solare la luce è al massimo quando è nel mezzo, e diminuisce verso gli estremi ; e la forza calorifica si trova al minimo dove la luce è maggiormente rifrangibile (nel raggio violetto) e, aumentandosi da colore a colore, si trova al massimo dove la luce è rifrangibile meno (nel raggio rosso) : così che nello spettro solare, mentre il massimo della luce è nel mezzo, il massimo della facoltà calorifica è verso uno degli estremi. Herschel, cui si deve questa scoperta, credè anzi osservare che la forza calorifica si accrescesse per certo spazio, anche oltre il rosso dello spettro, cioè fuori della luce visibile del medesimo : altro fondamento per appoggiare la non visibilità dei raggi calorifici, e l' esser questi differenti dai raggi luminosi.

Inoltre si dice l'agir chimico attributo alla luce ed al calorico appartenere soprattutto ad un altro sistema di raggi contenuto nello spettro solare, ed anche estendentesi fuori di quello, non altrimente che i raggi calorifici, sebbene in senso inverso : poichè nel raggio meno calorifico (nel raggio violetto) e al di là di esso esiste la maggior forza decomponente delle solari emanazioni : ciò che alla luce del sole, non due, ma darebbe tre specie di raggi di-

stinti, una luminosa, due oscure, cioè i raggi calorifici ed i raggi decomponenti.

243. Risposte

Era conosciuto che il vetro trasmette imperfettamente l' emanazioni calorifiche oscure, anzi che talora interamente le intercetta; e che d' altronde trasmette in copia i raggi luminosi con le propietà calorifiche che gli accompagnano. Intorno a tal differenza il de la Roche ha scoperto quanto siegue. Mentre la sorgente calorifica ha una temperatura inferiore a quella dell' acqua bollente, i raggi calorifici emananti da lei poco o nulla si trasmettono a traverso una lastra di vetro come che sottile; ma sopra di questo termine essi cominciano a trasmettersi notabilmente ed in proporzione tanto più grande quanto la sorgente calorifica è più elevata, fino a che, giunta quella allo stato luminoso, la trasmissione loro più facile diviene e più abbondante. Quì il Biot osserva col Mariotte che, se si fa riflettere la luce del sole al punto focale di uno specchio concavo di metallo, e poscia innanzi allo specchio mettesi un paracamino di vetro, ne risulterà una debole diminuzione nella temperatura del fuoco e come di un settimo o di un ottavo; ma che, se si fa lo stesso sperimento col fuoco d' un fornello, si troverà la riflessione diretta sullo specchio senza paracamino produrre un calor vivissimo, e produrne uno debolissimo o insensibile se si frappone la lastra di vetro. Avvertite alla differenza degli effetti prodotti col mezzo del paracamino.

Da queste premesse il Biot deduce I, la inu-

guaglianza della trasmissione a diverse temperature dalla sorgente raggiante dimostrare che l' emanazioni calorifiche che ne partono, nelle diverse circostanze, sono variamente modificate; II, la trasmissione più abbondante a misura che il raggior calorifico si accosta allo stato di luce indicare il progresso di uno stesso fenomeno che, nelle differenti sue modificazioni, agisce inugualmente sopra di noi, come se l' emanazioni calorifiche altro non fossero che luce oscura, e la luce fosse calorico luminoso.

Bernard, nella sperienza del polorizzamento de' raggi calorifici, ha osservato che, a traverso un prisma di spato d' Islanda, quelli accompagnano le molecole luminose e si prestano alle medesime azioni. Di più ha osservato che la forza calorifica non si accresce oltre la estremità rossa dello spettro solare.

Dall' esperienze del de la Roche ricava il Biot poter esistere differenze essenziali tra il calorico oscuro impiegato dai chimici per alterare certe combinazioni, ed il calorico dello spettro nella parte che queste alterazioni non produce. Potrebbe darsi che il calorico oscuro ottenuto da un calore artificiale fosse in tutto o in parte analogo alle oscure emanazioni che hanno luogo verso l' estremità violetta dello spettro. In fine i raggi calorifici oscuri, condensati per mezzo di una lente, rosseggiano.

244. Dietro l' esposte osservazioni di analogia, ammettendo tre differenti specie di raggi, luminosi, calorifici, decomponenti o chimici, bisognerà ammettere tre spettri, uno visibile, cioè il luminoso, due oscuri, uno calorifico, uno chimico. Ma non

sarebbe più semplice supporre ,, la luce solare esser composta di raggi disugualmente rifrangibili , e quindi inugualmente alterabili dai corpi ? . . . . Perchè questi raggi i quali già differiscono in tante cose produrrebbero sugli organi nostri le stesse sensazioni di luce e di calorico ? Perchè avrebbero la stessa energia per formare o per disunire le combinazioni ? Non sarebbe naturalissimo la visione non potersi operare negli occhi nostri che in certi limiti di rifrangibilità , e che il troppo , o il molto poco rendessero i raggi ugualmente inabili a tale effetto ? Forse questi raggi potrebbero esser visibili per occhi di altri animali. In una parola si può concepire che la facoltà calorifica e chimica varii in tutta la estension dello spettro nello stesso tempo che la rifrangibilità ; ma seguendo funzioni diverse : in modo che la facoltà calorifica sia al suo minimo alla estremità violetta dello spettro , e nel suo massimo alla estremità rossa ; mentre al contrario la facoltà componente e decomponente (chimica) espressa da un' altra funzione , avrebbe il suo minimo alla estremità rossa ed il suo massimo alla estremità violetta , o anche al di là . . . . In fine poichè , secondo le osservazioni del de la Roche , il calorico oscuro emanato da un corpo che gradatamente si riscalda , accostasi anche gradatamente alle condizioni e propietà che possede il calorico luminoso , si comprende che , quando la emanazione comincia a rendersi visibile , ella esser deve analoga alla parte meno calorifica dello spettro che trovasi alla estremità violetta. Quindi si

osserva che tutte le fiamme, quando cominciano a nascere sono da principio violette o turchine, e non giungono alla bianchezza, che quando hanno acquistato un grado più alto d' intensità. D' altronde questi ravvicinamenti non escludono le propietà particolari che possono esclusivamente appartenere a tale o tal circostanza della progressione. Così l' emanazioni calorifiche di temperature diverse e l'emanazioni di diversi colori potranno differire tra loro nella facoltà di produr la visione, il calore, l'azion chimica, nella trasmissibilità a traverso le sostanze diafane, e forse in molti altri caratteri che i fisici non hanno ancora studiato. „ (1)

FINE DELLE NOZIONI ELEMENTARI DI FISICA

(1) *Biot*, Traité de Phisique Exp. liv. VII Ch. I.

Tra le obiezioni si diceva che, se i raggi luminosi avessera la propietà calorifica, la luce della luna, condensata, dovrebbe riscaldare. Ora l'Howard, professore nella università di Maryland pretende che i raggi lunari, accumulati al fuoco di uno specchio concavo, producano un calor sensibile. Per altro io cito la notizia, non garentisco il fatto.

INDICE



LIBRO QUINTO

DELLA ELETTRICITA'

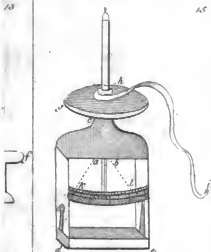
LIBRO SESTO

DEL MAGNETISMO

LIBRO SETTIMO

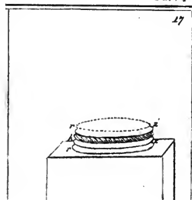
DELLA LUCE

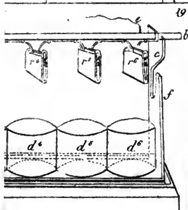
Pag.	lin.	ERRORI	CORREZIONI
11	1	*alla nota* dello	detto
63	4	respingervi	respingersi
108		*La indicazione al margine appartiene al* §. 91	
115	6	composta	composti
125	*al marg.*	mezzo denso	mezzo meno denso
148	20	*ik*, *lm*,	*ik lm*,
186	32	qui vi	quivi
199	32	picciola	è picciola
224	6 e 7	rifragibilità	rifrangibilità
240	5	raggior	raggiar
ivi	11	Polorizzamento	Polarizzamento

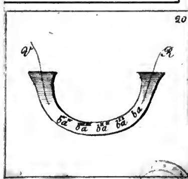

15
h
g
c
a
b
k
l
i
d
e

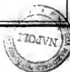

14
g
c
t
b

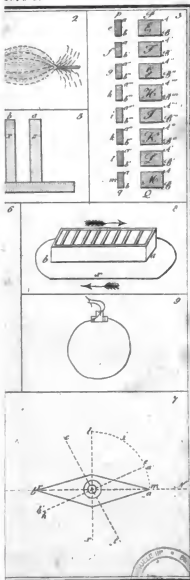



17
r
z
r

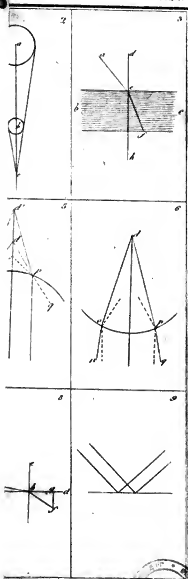

19
e
b
c
f
d⁴
d⁵
d⁶


20
V
R

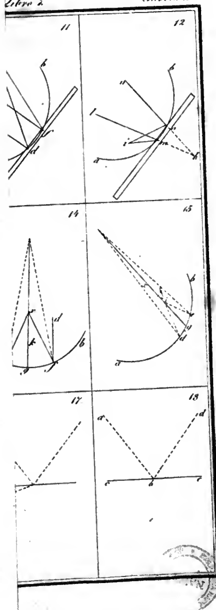


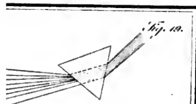


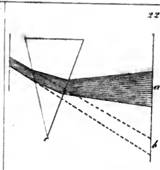


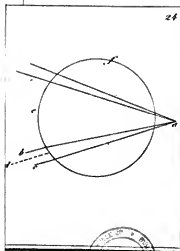

2
3
a
d
b
c
f
h
5
6
d
p
q
8
9
c
d
f



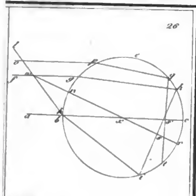

11
12
14
15
17
18

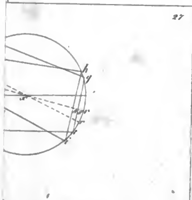

Fig. 19.

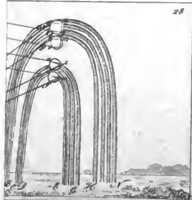

21
22
a
b
c


24
f
c
a
b
d
e

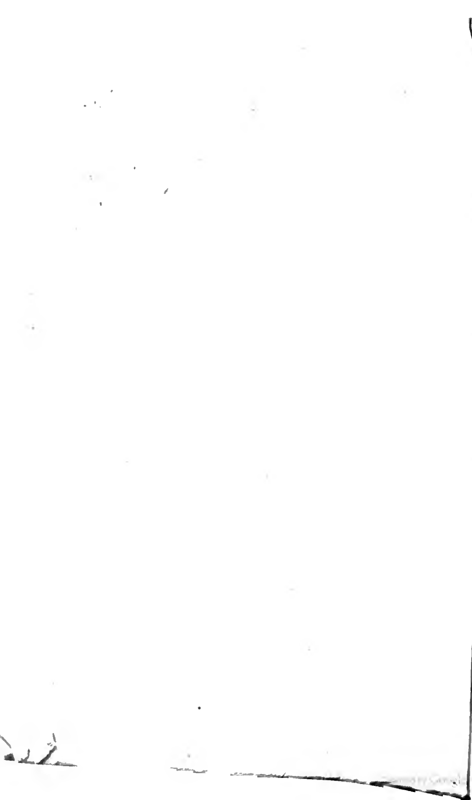


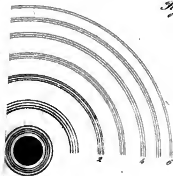

26

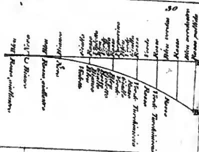

27

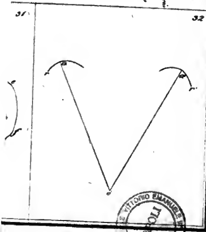

28

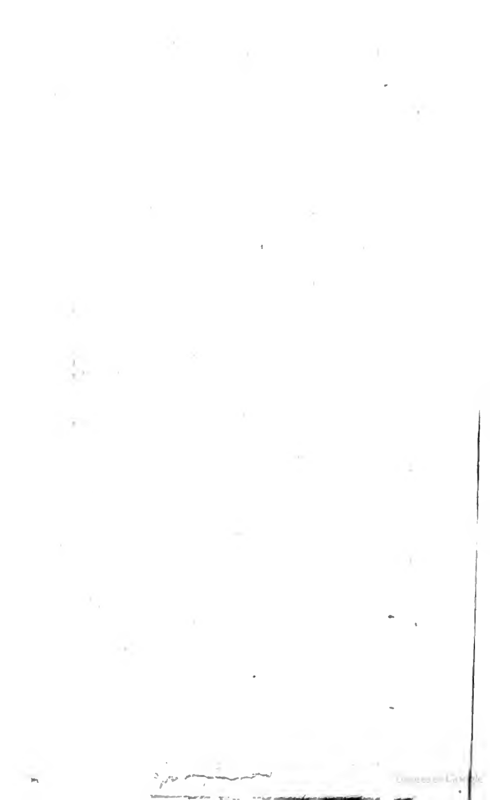


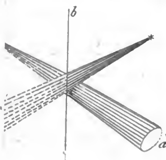


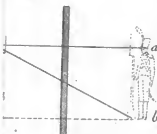

Fig. 29.
2
4
6

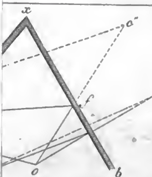

30
B
B


31
32



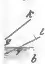

34
b
a

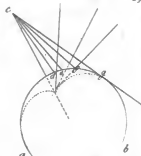

36
a'
b


37
x
a'
f
o
b



Libro 7. Tav. 7

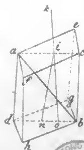




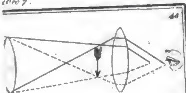


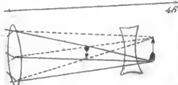


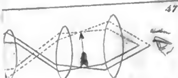


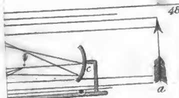


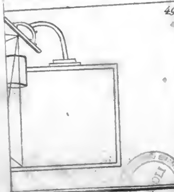



45


46


47


48
c
a


49







